

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»  
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК  
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)  
РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ  
АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»  
ФОНД ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ «НАДЁЖНАЯ СМЕНА»  
МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ РНК СИГРЭ

---

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

---

ДВАДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

16–18 марта 2023 г.

МОСКВА

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



МОСКВА

НИУ «МЭИ»

2023

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:  
P 154 Двадцать девятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (16–18 марта 2023 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2023. — 1240 с.

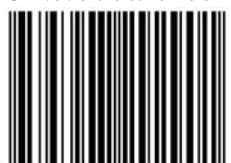
ISBN 978-5-907292-90-1

Помещенные в сборнике тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления современной радиотехники, электроники, информационных технологий, электротехники, электромеханики, электротехнологии, ядерной энергетики, теплофизики и электроэнергетики.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ISBN 978-5-907292-90-1



9 785907 292901 >

© Авторы, 2023

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2023

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

- Председатель — Н.Д. Рогалев, ректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В.К. Драгунов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В.Н. Замолодчиков, первый проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — А.Е. Тарасов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель, ответственный секретарь — Р.Р. Насыров, доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»  
М.Я. Погребиский, директор ИЭТЭ НИУ «МЭИ»  
Р.С. Куликов, директор ИРЭ НИУ «МЭИ»  
А.В. Дедов, директор ИТАЭ НИУ «МЭИ»  
В.Н. Тульский, директор ИЭЭ НИУ «МЭИ»  
С.В. Вишняков, директор ИВТИ НИУ «МЭИ»  
И.В. Меркурьев, и.о. директора ЭнМИ НИУ «МЭИ»  
И.А. Щербатов, директор ИЭВТ НИУ «МЭИ»  
А.Ю. Невский, директор ИнЭИ НИУ «МЭИ»  
Т.А. Шестопалова, Директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ»  
О.Е. Кондратьева, зав. каф. ИЭиОТ НИУ «МЭИ»  
Н.Л. Кетоева, зав. каф. МЭП НИУ «МЭИ»  
А.С. Федулов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
М.М. Султанов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжский  
С.А. Абдулкеримов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе  
Ю.Б. Кузин, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково (Энергетический колледж)  
Толба Мохамед Али Хассан, доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»  
Л.В. Шавалиева, заведующий учебной лабораторией каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»  
А.О. Горбунова, заведующий ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ»  
А.А. Еремеев, ведущий программист ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ»  
А.И. Смыслина, программист 1 категории ОВР, ИВЦ НИУ «МЭИ»

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Председатель — Н.Д. Рогалев, ректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В.К. Драгунов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — В.Н. Замолодчиков, первый проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель — А.Е. Тарасов, проректор НИУ «МЭИ»  
Сопредседатель, ответственный секретарь — Р.Р. Насыров, доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»  
М.Я. Погребиский, директор ИЭТЭ НИУ «МЭИ»  
Р.С. Куликов, директор ИРЭ НИУ «МЭИ»  
А.В. Дедов, директор ИТАЭ НИУ «МЭИ»  
В.Н. Тульский, директор ИЭЭ НИУ «МЭИ»  
С.В. Вишняков, директор ИВТИ НИУ «МЭИ»  
И.В. Меркурьев, и.о. директора ЭнМИ НИУ «МЭИ»  
И.А. Щербатов, директор ИЭВТ НИУ «МЭИ»  
А.Ю. Невский, директор ИнЭИ НИУ «МЭИ»  
Т.А. Шестопалова, Директор ИГВИЭ НИУ «МЭИ»  
О.Е. Кондратьева, зав. каф. ИЭиОТ НИУ «МЭИ»  
Н.Л. Кетоева, зав. каф. МЭП НИУ «МЭИ»  
А.С. Федулов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
М.М. Султанов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжский  
С.А. Абдулкеримов, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе  
Ю.Б. Кузин, директор филиала НИУ «МЭИ» в г. Конаково (Энергетический колледж)  
Толба Мохамед Али Хассан, доцент каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»  
Л.В. Шавалиева, заведующий учебной лабораторией каф. ЭЭС НИУ «МЭИ»

**Направление I**

**РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Radio engineering and Electronics**

---

**Руководитель направления:**

Директор института радиотехники  
и электроники им. В.А. Котельникова  
НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент  
Куликов Роман Сергеевич

**Секция 1**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ**  
**Theoretical basis of radio engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Шалимова Елена Владимировна*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Крутских Владислав Викторович*

*М.С. Соколова, студ.;  
рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф. (ПГТУ, Йошкар-Ола)*

## **КВАТЕРНИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИСКРЕТНОГО СИГНАЛА**

На сегодняшний день для усовершенствования качества передаваемого сигнала, а также повышения скорости передачи информации используется технология ММО (Multiple Input Multiple Output), в основе которой лежит метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала. В конечном итоге ММО позволяет в одном частотном диапазоне и заданном частотном коридоре передавать больше данных, т.е. увеличить скорость. При анализе такой технологии возникает необходимость в спектральном представлении сигналов [1].

В данной работе проведен сравнительный анализ базисов для представления многомерных сигналов. Рассмотрено представление базиса в виде совокупности элементарных кватернионных сигналов [2] и задание функции кватерниона в виде кватернионного ряда Фурье. Коэффициенты кватернионного ряда Фурье рассчитываются в соответствии с выражением:

$$C_{tn} = \sum_{n=0}^{N-1} R_{n,tn} \times q_n,$$

где

$$R_{n,tn} = \cos\left(\frac{2\pi n}{N} tn\right) E + \sin\left(\frac{2\pi n}{N} tn\right) I1,$$

$q_n$  — четыре дискретных сигнала,  $E$  — базисная матрица,  $I1$  — нормированная мнимая часть кватерниона.

Данная методика разложения последовательности во времени четырех дискретных сигналов (или двух комплекснозначных [3]) в кватернионный ряд Фурье дает возможность проводить анализ спектра.

### **Литература**

1. **Советов В.М.** Кватернионный ряд Фурье периодической последовательности импульсов // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 3.
2. Комплекснозначные и гиперкомплексные системы в задачах обработки многомерных сигналов / под ред. Я.А. Фурмана // М.: Физматлит. 2004.
3. **Григорьевых Е.А., Хафизов Р.Г.** Применение комплекснозначных сигналов в системах асинхронной передачи данных // Телекоммуникации. 2007. № 10. С. 14–18.

*Е.С. Пахмутова, студ.; рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф.  
ФГБОУ ВО «ПГТУ», Йошкар-Ола*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МЕТОДАМИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Обработка сигналов играет важную роль в современной радиотехнике. Обработку можно осуществлять методом аналитической геометрии, например с использованием матрицы Грама. В данной работе рассмотрен процесс фильтрации сигналов как представление в косоугольной системе координат. При этом процесс фильтрации сигналов может быть представлен, и как расчет координат, и как расчет проекций вектора сигнала в косоугольной системе координат в зависимости от исходных данных и типа фильтрации. Базис данной косоугольной системы координат задается характеристиками фильтра, например импульсной [1].

Расчет в данной работе производился с применением биортогонального базиса с помощью матрицы Грама. Рассмотрены примеры расчета низкочастотного и высокочастотного, согласованного и инверсного фильтров. Для низкочастотного и инверсного фильтров рассчитаны координаты и проекции в косоугольной системе координат. Также получили результат фильтрации в виде расчета координат и проекций используя матрицу Грама. При расчете низкочастотного фильтра проекции соответствуют низкочастотной фильтрации, а координаты — высокочастотной. Аналогично для инверсной фильтрации сигнала: проекции совпадают с результатом инверсной фильтрации, координаты с результатом согласованной фильтрации.

На основе проделанных расчетов получено, что с использованием геометрического метода можно рассчитать сразу два фильтра, в данном случае низкочастотный и высокочастотный, инверсный и согласованный. Значениям импульсной характеристики высокочастотного и согласованного фильтров соответствуют значения сопряженного косоугольного базиса низкочастотного и инверсного фильтров соответственно. Матрица Грама является удобной тем, что для ее расчета не требуется дополнительного биортогонального косоугольного базиса.

### **Литература**

1. **Хафизов Р.Г.** Обеспечение разрешенного образа при инверсной фильтрации сигналов в условиях неопределенности // Цифровая обработка сигналов, 2020, № 1. С. 50–54.



А.А. Крылович, студ.; рук. Е.Г. Базулин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ

Измерение интервалов времени между импульсами является актуальной задачей для многих отраслей техники (радиолокация, радионавигация, толщинометрия).

Интервал времени между двумя импульсами можно найти по положению максимумов их огибающей [1] или по моментам времени, когда огибающая достигает заданный уровень. Нахождение среднего значения временного интервала по переднему и заднему фронтам импульсов, предварительно разбитых на несколько уровней [2], является развитием этих двух методов. Недостатком упомянутых методов является сильная зависимость измерений от уровня шума, приводящая к высокой погрешности определения прихода импульса и, следовательно, определению временного интервала.

В толщинометрии используется метод измерения интервалов времени по переходу сигнала через ноль [3] с учётом интерполяции сигнала. Погрешность метода достаточно мала, даже при наличии шума. Обобщением этого метода является метод аппроксимации огибающей полиномом второго или третьего порядка [4].

В акустической эмиссии используют ранговые непараметрические методы [5], устойчивые к шуму. Методы, основанные на Вейвлет-преобразовании сигнала [6], весьма эффективны при условии, что реальный сигнал по форме близок к вейвлету. Итеративный процесс поиска элементов избыточного словаря (метод Matching Pursuit) жадно минимизирует ошибку аппроксимации на каждом шаге [7]. Основным недостатком — высокая вычислительная сложность алгоритма.

В работе приведены результаты численного моделирования.

### Литература

1. Гук В.И., Наконечная О.А. — Алгоритмы численного определения временных характеристик сигналов акустической эмиссии. 2012 — 15 с.
2. Иванов Е.С., Пярсинен А.Т., Шагиев Н.М. — Способ измерения интервалов времени между двумя импульсными сигналами (патент). 1974 — 4 с.
3. Солдатов А.В., Иванов Н.Г. — Оценка частоты сети в цифровых системах РЗА по переходу через ноль: характеристики точности. 2013 — 25 с.
4. Солдатов А.И., Шестаков А.В., Пономарев С.В. — Применение методов огибающих второго и третьего порядков для определения временного положения эхо-импульса.
5. Смирнова З.М., Крейнина М.В. — Проверка статистических гипотез.
6. Леонидов В. — Конспект лекции по вейвлет-преобразованию. [https://ru.bmstu.wiki/Анализ\\_сигналов\\_на\\_основе\\_вейвлет-преобразования](https://ru.bmstu.wiki/Анализ_сигналов_на_основе_вейвлет-преобразования)
7. Луковенкова О.О. — Сравнение методов разреженной аппроксимации на примере сигналов геоакустической эмиссии.

*А.Н. Ушков, М.А. Исаев, студ.;*  
*рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПЛК НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ**



**Рис. 1.** Программируемый логический контроллер на отечественной элементной базе

Современные системы промышленного интернета вещей позволяют автоматизировать технологические процессы и передавать данные между устройствами при помощи облачных технологий [1]. Ядром такой системы является программируемый логический контроллер (ПЛК), осуществляющий взаимодействие с множеством модулей и выполняющий вычислительные операции. В условиях действия антироссийских санкций и ухода из России ряда производителей ПЛК, таких как Siemens, Schneider, Wecon, Mitsubishi Electric, ABB, Honeywell, Omron и других, возникает необходимость разработки ПЛК, выполненного на отечественной элементной базе.

В ходе настоящего проекта разрабатывается программное обеспечение для системы управления ПЛК на микроконтроллере Комдив 64 и программные модули для других контроллеров устанавливаемых в дополнительные модули. Программное обеспечение главного контроллера позволяет автоматически определять типы подключенных модулей и выводить информацию о них. В программном обеспечении контроллера предусмотрен веб-сервер, через который можно настраивать конфигурацию и режим работы дополнительных модулей, а также сохранять и редактировать программы для исполнительных устройств на логическом языке примитивов.

В результате работы была разработана плата для контроллера с использованием отечественной компонентной базы, написано программное обеспечение для взаимодействия ПЛК с подключаемыми устройствами, а также веб-сервером.

### **Литература**

1. **Петров В.Ю., Рудашевская Е.А.** Технология «интернет вещей» как перспективная современная информационная технология // *Фундаментальные исследования*. — 2017. — №. 9-2. — С. 471–476.
2. **Минаев И.Г., Самойленко В.В.** Программируемые логические контроллеры. — 2009.

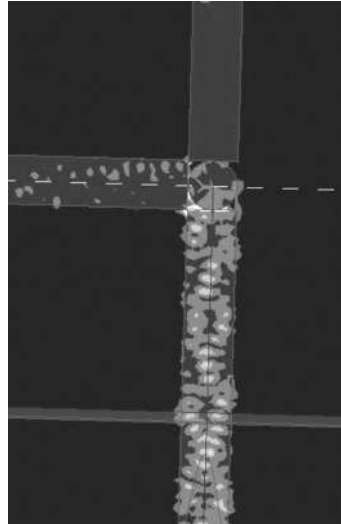
*А.Н. Ушков, студ.; Х. Арикат, асп.;  
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРИТОВОГО ЦИРКУЛЯТОРА НА ПЭДВ**

В Современных радиотехнических и радиолокационных системах КВЧ диапазона широко применяются функциональные узлы обеспечивающие развязку и протекание электромагнитной волны в заданном направлении. Для решения задачи канализации волны в диапазоне от 20 до 60 ГГц эффективно использовать полуэкранированные диэлектрические волноводы (ПЭДВ), которые можно использовать для построения СВЧ фильтров, вентилях, циркуляторов [1] и осветителей. При этом возникает необходимость добавления в указанные выше узлы ферритовых вкладышей для реализации функциональных возможностей узла.

В ходе работы проведено исследование протекания энергии электромагнитной волны в циркуляторе на ПЭДВ с ферритовым вкладышем в форме диска [2]. При помощи численных методов и аппроксимации экспериментальных значений получены частотные характеристики матрицы рассеяния  $S$ , а также проведен анализ поля распространяющейся волны. Проведен сравнительный анализ открытой структуры циркулятора на диэлектрическом волноводе и на ПЭДВ. По полученным картинам поля сделаны выводы о влиянии медных пластин, полученных гальваническим методом, на структуру поля.

В результате работы были получены характеристики передаточные характеристики циркулятора на ПЭДВ, а также проведен анализ картины поля для открытой и полуэкранированной структуры.



**Рис. 1.** Распространение поля в феррито-вом циркуляторе на ПЭДВ

### **Литература**

1. **Бородин В.Н. и др.** Автоматизированное проектирование ферритовых циркуляторов на сосредоточенных элементах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. — 2020. — Т. 23. — №. 4. — С. 74–84.
2. **Семенов А.С. и др.** Микрополосковые ферритовые развязывающие приборы с улучшенными характеристиками для СВЧ аппаратуры мм-диапазона // Электроника и микрорелектроника СВЧ. — 2021. — Т. 1. — С. 309–314.

*А.Н. Ушков, Т.В. Ребец, студ.;*  
*рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАТОРОВ**



**Рис. 1.** Аппаратно-программный комплекс измерения параметров резонаторов

Диэлектрические резонаторы(ДР) широко применяются в современных радиотехнических устройствах при исследовании параметров материалов в СВЧ диапазоне, стабилизации частоты сигналов в маломощных генераторах [1], а также в устройствах разделения сигналов по частоте [2]. При этом для повышения надежности работы функциональных узлов с ДР предлагается использовать автоматизированный аппаратно-программный комплекс контроля и оценки параметров изготавливаемых на производстве образцов.

В настоящей работе обсуждаются возможности реализации устройства контроля добротности и номера моды азимутальных волн ДР. Комплекс включает в себя блок генерации сигнала, измерительную оснастку и модуль управления. Измерительная оснастка позволяет регулировать возбуждение ДР и измерять распределение поля. Добротность резонатора определяется по значениям  $S_{12}$ , полученной при помощи детекторов на входе и выходе оснастки. При добавлении отражателя и вращения поворотного стола измеряется индекс азимутального колебания.

В результате работы был разработан прототип измерительной системы и рассмотрен потенциал расширения функциональных возможностей.

### **Литература**

1. **Белов Л., Хилькевич В.** Генераторы с диэлектрическими резонаторами для стабилизации частоты // Электроника: Наука, технология, бизнес. — 2006. — №. 7. — С. 54–59.
2. **Ильченко М.Е., Взятых В.Ф., др.** Диэлектрические резонаторы. / Под редакцией Ильченко М.Е. Радио и связь. — М., 1989.
3. **Добромыслов В.С.** Высокодобротные диэлектрические резонаторы для диагностики параметров окружающей среды в СВЧ диапазоне // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. — 2020. — №. 1–2. — С. 221–222.

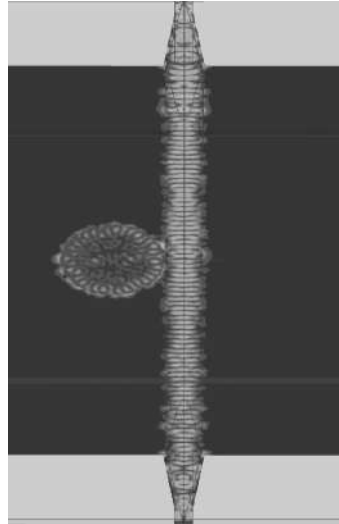
*А.Н. Ушков, студ.; И.М. Беспалов, асп.;  
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛА РЕГУЛЯРНОЙ ЛИНИИ С ДР И ЭДР В РЕЖИМЕ ВЫСШИХ АК**

Устройства на диэлектрических резонаторах получили широкое применение в КВЧ диапазоне. Использование режима высоких азимутальных волн позволяет снизить радиационные потери, вследствие чего улучшаются характеристики функционального узла. Также повышение показателей качества блоков с диэлектрическими резонаторами достигается за счет экранирования, когда распространяющиеся волны не рассеиваются, а переотражаются от металла обратно в систему. Последнее позволяет снизить энергетические потери колебательной системы и дает предпосылки к разработке экранированных и полужэкранированных структур [1].

В настоящей работе обсуждается исследование характеристик режекторного фильтра на диэлектрическом волноводе (ДВ) и полужэкранированном диэлектрическом волноводе (ПЭДВ) с диэлектрическим резонатором «шпечущей галереи» [2]. При помощи численного и экспериментального моделирования [3] получены параметры матрицы рассеяния  $S$  в зависимости от частоты, исследован вопрос оценки показателей качества резонатора. Рассмотрен вопрос связи резонатора и регулярной линии.

В результате работы была проведена оценка параметров и показателей качества экранированного и открытого узла с резонатором, а также проведен анализ картин поля в узле.



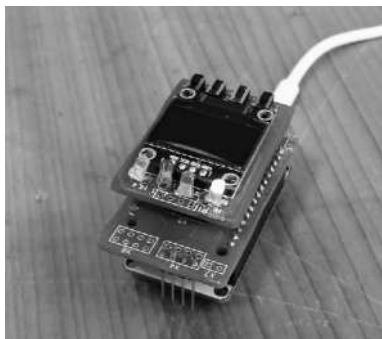
**Рис. 1.** Модель режекторного фильтра на участке регулярной линии на ПЭДВ

### **Литература**

1. **Крутских В.В., Взятыхшев В.Ф.** Технология проектирования узлов на базе неизлучающих диэлектрических волноводов миллиметрового диапазона // Радиотехника. 2006. С. 20.
2. **Егоров В.Н.** Микроволновые диэлектрические резонаторы в физических измерениях: Дисс. на соиск. уч. ст. докт. ф-м. наук. Иркутск: ФГУП «ВНИИФТРИ» Восточно-Сибирский филиал, 2013.
3. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. — М.: Солон-пресс, 2017.

*А.М. Игнатов, П.М. Жучкова студ. ;  
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО ПЛК ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**



**Рис. 1.** Модульный ПЛК для промышленного интернета вещей

Основой большинства современных промышленных систем интернета вещей является программируемый логический контроллер (ПЛК), который представляет собой процессорный модуль опроса и управления периферийными устройствами, а также осуществляет передачу данных в облачные хранилища. В связи с тем, что ПЛК имеет широкий спектр применения, возникает необходимость его использования с устройствами по различным интерфейсам и протоколам передачи данных, что усложняет алгоритмы и увеличивает стоимость его изготовления.

Настоящая работа описывает преимущества и недостатки ПЛК состоящего из нескольких сотавных функциональных модулей. Данный ПЛК состоит из главного вычислительного модуля и модулей расширения. Главный вычислительный модуль имеет в своем составе микроконтроллер, LCD-дисплей с клавиатурой управления и интерфейсы связи с модулями расширения, которые имеют различное функциональное назначение, такое как цифровые и аналоговые модули ввода, релейный модуль вывода, ШИМ модуль вывода, а также модули измерения температуры, влажности и давления. Опираясь на потенциальное функциональное применение модули расширения взаимодействуют с периферийными устройствами по USB, RS232, RS-485, Ethernet и NRF, I2C интерфейсам.

В результате работы был разработан прототип модульного ПЛК, управляемого при помощи веб-сервера и автоматически формирующего матрицу входов и выходов с модулей расширения.

### **Литература**

1. **Авдеев А.С., Герасимова А.И.** Основные проблемы программирования систем умного дома // М.: Перспективы науки, — 2014. — 245 с.
2. **Strelkov N.O., Krutskikh V.V., Shalimova E.V.** Programming STM32 Nucleo Platform for IoT Education Using STM32duino and Mbed OS // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2022. — С. 1–6.

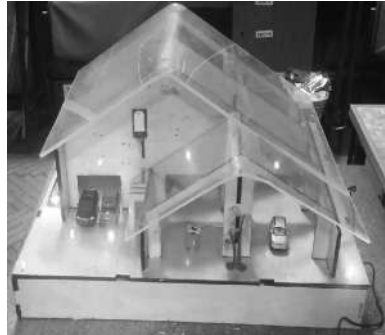
*Д.А. Кулешов, Я.С. Любушкин, М.А. Хазиев, студ.;  
рук. А.Н. Ушков, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ИНДУСТРИИ 4.0 НА ПРИМЕРЕ «УМНОГО ДОМА»**

Развитие в области машинного обучения и технологий сетевого взаимодействия увеличивает процесс интеграции систем индустрии 4.0 в системы жизнедеятельности человека и его производственных процессов. В основании этой тенденции заложен принцип автоматизированного сбора и обработки информации. Также интеллектуальные комплексы должны быть доступны и просты в эксплуатации для рядового пользователя с одной стороны и осуществлять передачу конфиденциальных данных по защищенному каналу с другой стороны [1].

Настоящий проект объединяет в себе многообразие «умных» устройств, взаимодействующих между собой в системе «умный» дом [2]. В основание комплекса заложен вычислительный модуль на микроконтроллере Tensilica Xtensa LX6. Передача данных может быть осуществлена при помощи семейства технологий пакетной передачи данных Ethernet или при помощи встороненного модуля беспроводной локальной сети Wi-fi [3]. В ходе работы проведен анализ функциональных возможностей базовых систем «Умного» дома, а также предложены рекомендации повышения защищенности и эффективности работы модульных «умных» устройств.

В результате работы была спроектирована многофункциональная система управления «умным» домом, а также разработана программа дистанционного контроля состояния систем при помощи MQTT-сервера.



**Рис. 1.** Макет системы Индустрии 4.0 на примере «Умного» дома

### **Литература**

1. **Авдеев А.С., Герасимова А.И.** Основные проблемы программирования систем умного дома // М.: Перспективы науки, — 2014. — 245 с.
2. **Дубков И.С., Шашевский П.С., Яковина И.Н.** «Решение практических задач на базе технологии интернета вещей» / Новосибирск: НГТУ, 2017.
3. **Mikhailov M.S., Strelkov N.O.** Application of Wi-Fi and LoRa Technologies for Wireless Measurement of Physical Quantities / 2019 International Youth Conference on radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) / Moscow, Russia, 2019, pp. 1–4.

*А.Е. Исаков, В.А. Федосеев, студ.;*  
*рук-и: А.Н. Ушков, асс.; В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА БАЗЕ NRF-МОДУЛЯ**



**Рис. 1.** Система для управления универсальной роботизированной платформой

На сегодняшний момент времени роботизированные системы активно интегрируются в различные отрасли человеческой деятельности. Беспилотные устройства позволяют выполнять задачи с прецизионной точностью в жестких внешних условиях [1]. При этом отдельное внимание занимают универсальные роботизированные платформы широкого применения, управляемые человеком дистанционно. Разработка таких устройств позволяет обеспечить безопасность жизнедеятельности на производстве и повысить эффективность производственных процессов [2].

В настоящей работе предложена конструкция универсальной роботизированной платформы, управляемой дистанционно по радиоканалу. Разрабатываемая система осуществляет передвижение при помощи электродвигателей, управляемых аппаратно-процессорным модулем на базе АТМega2560, и может быть использована для сканирования окружающего пространства. Дистанционное управление осуществляется с ПК при помощи радиомодуля, который позволяет управлять группой роботизированных устройств [3].

В результате работы был проведен анализ состояния применения робототехники промышленных комплексах и разработан прототип системы управления универсальной роботизированной платформой.

### **Литература**

1. **Нго К.Т., Соленая О.Я., Ронжин А.Л.** Анализ подвижных роботизированных платформ для обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. — 2017. — №. 95. — С. 11-11.
2. **Черненко А.Б. и др.** Особенности применения роботизированных платформ в сельском хозяйстве // Проблемы современной науки и образования. — 2020. — №. 8 (153). — С. 18–23.
3. **Акименко Т.А., Аршакия А.А., Рудианов Н.А.** Управление группами роботизированных платформ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2015. — №. 8-1. — С. 200–208.



*П.Ю. Гречкина студ.; рук-и.: А.Н. Ушков, асс;  
Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКОЙ**

Роботизированные системы позволяют автоматизировать сложные и прецизионные производственные процессы на промышленных и медицинских предприятиях [1], а также используются для задач протезирования утраченных конечностей в силу различных обстоятельств. Одной из задач в области прототипирования является разработка эффективного бионического протеза руки, управляемого при помощи датчиков установленных на теле человека [2].

В настоящей работе описываются принципы и алгоритмы используемые при разработке биотехнического аппаратно-программного комплекса управления роботизированной рукой, состоящего из исполнительного и управляющего модулей. Исполнительный блок представляет собой изготовленные при помощи 3D печати соединения пальцев, кисти и предплечья. Их движения производятся при помощи сервоприводов, подключенных к процессорному модулю на ATmega328P. Управление протезом реализовано при помощи ПК.

В результате работы был создан прототип роботизированной руки, управляемый при помощи сигналов с внешних устройств, а также предложены рекомендации для повышения функциональных возможностей роботизированного протеза.



**Рис. 1.** Роботизированный протез руки

### **Литература**

1. **Яшина М.Н., Бочарова С.В., Пименов В.В.** Модернизация промышленных предприятий в условиях цифровой экономики // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. — 2018. — №. 4 (73). — С. 22–27.
2. **Бушманов А.В., Водопьян С.А., Горюнов Д.Г.** Разработка прототипа роботизированного протеза руки и программного обеспечения для реализации его движения // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. — 2015. — №. 71. — С. 13–19.

*А.Н. Ушков, Д.О. Завитаев, студ.;  
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ ЭКОМОНИТОРИНГА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**



**Рис. 1.** Система интернета вещей для мониторинга водных объектов

В результате ухудшения экологической ситуации в современных условиях возникает острая необходимость в мониторинге качества водных ресурсов по всему миру. На территории Российской Федерации вода в большинстве водоемов и водных каналов не соответствует нормативным требованиям, что следует из работ [1] и [2]. Чрезмерное загрязнение водных ресурсов может пагубно сказаться на здоровье живых организмов и природной экосистеме в целом.

В настоящей работе обсуждаются преимущества и недостатки энергоэффективной системы сбора и передачи данных о состоянии водных ресурсов. Структура устройства разработана при помощи принципов и методов [3] и представляет собой микроконтроллер с встроенным Wi-fi модулем, а также несколько датчиков для измерения

показателей качества воды. Также в работе проведен сравнительный анализ технических характеристик датчиков в сравнении с анализатором AQUA TROLL AT600.

В результате работы был проведен анализ характеристик устройств, оценивающих качество водных ресурсов, а также разработана система интернета вещей для экомониторинга в режиме реального времени.

### **Литература**

1. Ewa Jarosz и др. On flow variability in the Bosphorus Strait // JGR: Oceans. 2011.
2. Иванина А.А., Тутов И.А. Разработка системы, осуществляющей мониторинг природной воды на наличие токсичных и загрязняющих веществ, грозящих жизни и здоровью водных обитателей // Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). 2020.
3. Strelkov N.O., Krutskikh V.V., Shalimova E.V. Programming STM32 Nucleo Platform for IoT Education Using STM32duino and Mbed OS // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). — IEEE, 2022. — С. 1–6.

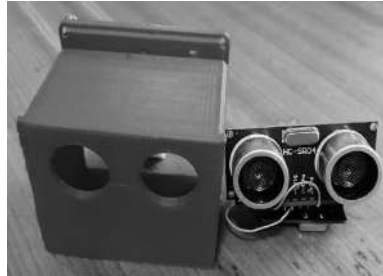
*А.Н. Ушков, Д.О. Завитаев, А.В. Каплинский, студ.;*  
*рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОСБЛИЖЕНИЯ**

Для решения задач быстрой транспортировки контейнерных грузов на современных транспортировочных станциях активно применяют козловые краны. При использовании нескольких кранов или при появлении объекта на путях возникает вероятность аварийной ситуации и столкновения с препятствием. В связи с этим возникает задача разработки системы интернета вещей, позволяющей определить препятствие на пути и осуществить заблаговременную остановку.

В настоящей работе обсуждаются возможности разработки системы противосближения, состоящей из 4 дальномерных модулей и головного блока управления двигателем крана. Для определения расстояния до объекта предлагается использовать принцип, описанный в работе [1], который обеспечивает стабильность измерения параметров при различных климатических условиях. Ультразвуковые датчики крепятся к опорам крана, что позволяет детально зондировать пространство на пути крана. Для повышения точности измерения дальности реализован алгоритм пересчета скорости распространения звука от температуры и влажности, описанный в работе [2]. Передача информации о присутствии на пути препятствия поступает от дальномеров на управляющий модуль при помощи радиоканала.

В результате работы был проведен анализ характеристик датчиков при изменении климатических условий и спроектирован прототип автоматизированной ультразвуковой системы противосближения.



**Рис. 1.** Модуль определения дальности объекта с корпусом

### **Литература**

1. **Купцов А.В., Войновский В.А.** Причины некорректных измерений дальностей с помощью лазерных дальномеров, используемых в вооружённых силах // *Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ»*. 2013.
2. **Бабинцев В.А., Виноградов Е.А., Шипилов К.Ф.** Влияние влажности на скорость звука в воздухе // *Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ»*. 2018.

*О.А. Хамарицкая, студ.;  
рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф. (ПГТУ, Йошкар-Ола)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ**

Существует огромное количество способов, при помощи которых робот может получать информацию из внешнего мира с целью взаимодействия с ним. Наиболее распространенным вариантом является система технического зрения.

Система технического зрения — это система, обеспечивающая обнаружение, автоматический контроль и анализ объектов по их изображениям.

Одной из проблем распознавания изображения является их искажения при съемке, которые возникают из-за изменения координат передаваемых элементов и проявляются в виде нарушения геометрического подобия изображения оригиналу.

Движение камеры или объекта приводит к вытягиванию или сужению изображения, то есть к его искажению, что не позволяет однозначно сказать, что за объект находится перед нами.

В работе [1] предложены различные математические модели контуров изображений объектов с геометрическими искажениями, при этом не было определено как параметр искажения связан с условиями наблюдения объекта (расстояние и угол).

В работе рассмотрено решение задачи расчета коэффициента геометрических искажений.

Были получены соотношения сторон контура и выражение, связывающее между собой размер контура изображения, угол поворота объекта в пространстве и расстояние от точки обзора до объекта, что позволяет производить расчет коэффициента искажения.

Был проведен натурный эксперимент, в котором полученные математические соотношения были подтверждены.

### **Литература**

1. **Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников, Т.В. Яранцева.** Модели контуров изображений объектов при наличии геометрических искажений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 3.

*Н.О. Игнатъев, А.А. Чинаков, студенты;  
рук-и: А.А. Меркулов, к.т.н. асс.; А.С. Швецов, к.т.н., ст. преп.;  
С.А. Жгун, к.т.н., зав. НИЛ. (НИУ “МЭИ”)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ ДАТЧИКОВ НА ПАВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО ПРИЁМНО-ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

С помощью двух программируемых приёмно-передающих устройств (ПППУ) и компьютера можно как формировать опрашивающий сигнал, так и принимать сигнал — отклик беспроводных пассивных датчиков быстропеременной деформации на основе резонаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [1]. Структура такой системы показана на рис.1.

Разработана модификация программы для опроса датчика [1], которая выполняет автоматическое переключение несущей частоты опрашивающего сигнала в выбранном диапазоне с заданным шагом и заданной частотой переключения.

Данная система позволяет обнаружить отдельные датчики в системе с множеством датчиков. При совпадении несущей частоты опрашивающего сигнала с резонансной частотой датчика на ПАВ, на ПППУ-приемник поступает отклик резонатора с максимальной амплитудой, результат детектирования которого также имеет максимальную амплитуду, что отображается в процессе работы программы на виртуальном осциллографе. При других значениях несущей частоты амплитуда отклика либо меньше максимальной, либо отклик незаметен.

В результате работы была разработана программа для определения резонансной частоты датчика и экспериментально проверена работоспособность системы. При проведении экспериментов использовался резонатор с резонансной частотой равной 224.43 МГц. Опрос проводился в полосе частот с 224.03 МГц по 225.03 МГц с шагом 100 кГц, время переключения было равным 1 секунде. В качестве ПППУ-приемника и ПППУ-передатчика использовались HackRF One.

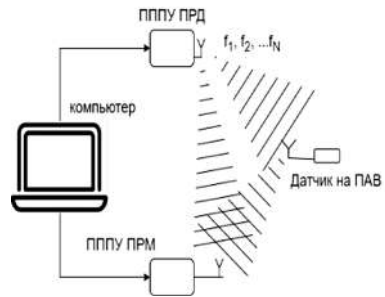


Рис. 1. Схема установки для опроса датчика на ПАВ

### Литература

1. Игнатъев Н.О., Липшиц К.Е., Швецов А.С. Беспроводные пассивные датчики быстропеременной деформации. // Тезисы VI международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Технологии будущего». — 23–27 мая 2022. — С. 247.

*М.Р. Цымбал, студ.;*  
*рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ**

В настоящее время задача определения собственного местоположение наземных объектов, судов и кораблей решается с помощью наземных радионавигационных систем и глобальных спутниковых навигационных систем [1]. Актуальность развертывания наземных станций обусловлено тем, что существуют зоны, где спутниковая связь не столь эффективна. Не мало важным фактором является экономические и эксплуатационные характеристики. Развертывание системы наземной навигации гораздо экономически выгоднее, а обслуживание и ремонт более простое.

Из выше сказанного следуют, что моделирование систем наземной навигации является актуальным направлением, а сама модель системы имеет практическое значение. В докладе излагаются принципы построения модели наземной навигации (Рис. 1), которая разработана в пакете MATLAB [2]. Новизна данной модели заключается в том, что предлагаемый программный продукт объединяет в себе разнородные модели: картографирование, систем связи, навигации, детальная проработка конструкции антенн, также позволяет учесть особенности распространения радиоволн, предусмотрена возможность создать разнообразные сценарии как движения объектов по различным траекториям, так и оптимальное расположение базовых станций.



**Рис. 1.** Вид позиционирования станций в условиях города

### **Литература**

1. **А.М. Алешечкин, М.М. Валиханов, В.И. Кокорин.** Исследование погрешностей определения координат наземной радионавигационной системы. Сибирский аэрокосмический журнал, № 4(17), 2007, стр 105–110.
2. **R.B. Mahafza, A.Z. Elsherbeni** MATLAB simulations for radar systems design / Bassem R. Mahafza, Atef Z. Elsherbeni. 2004. 686 pp.

А.Е. Семичастнов, студ. ;  
рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ВИРТУАЛЬНЫЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ПОЛИГОН

Необходимость разработки радиолокационных моделей обусловлено экономической целесообразностью, так как проведения натурных экспериментов требует больших финансовых затрат. Кроме того, такие модели позволяют многократно повторять виртуальные эксперименты и обрабатывать разнообразные сценарии. Разработка цифрового двойника радиолокатора также является актуальной задачей [1], так как появляется возможность проверить как можно больше практических решений за минимальное время, а также подтвердить их правильность на этапе эскизного проектирования.

В докладе излагаются принципы построения модели виртуального радиолокационного полигона (ВРП) в среде MATLAB и Julia [2] (Рис.1).

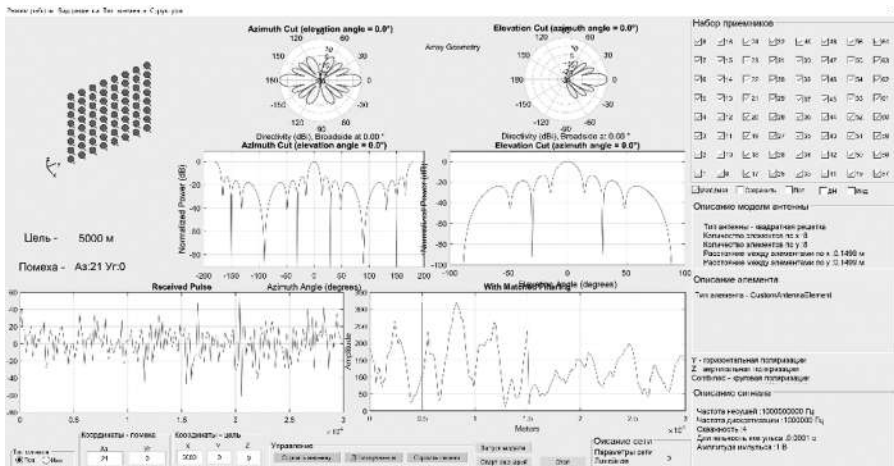


Рис. 1. Интерфейс управления ВРП

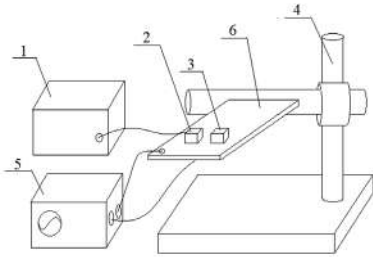
Виртуальный радиолокационный полигон представляет собой сложную модель, которая учитывает особенности радиолокатора (цифровой двойник), реальную фото-целевую обстановку, и умеет формировать разнообразные сценарии поведения объектов. Модель состоит из множества различных программных модулей таких как: «генератор ЗС», «передатчик», «антенна», «среда», «цель», приемник, «цифровая обработка сигналов».

### Литература

1. Д.А. Балакин, Е.В. Керский. Разработка цифрового двойника радиолокационной станции дальнего обнаружения. *Вестник Концерна ВКО «Алмаз — Антей»*. 2020;(1):10–18.
2. Электронный ресурс: <https://docs.julialang.org>

*П.Р. Бичарова, И.А. Сукач, А.В. Обухов, студенты;  
рук-ль: А.А. Меркулов, к.т.н. асс., зав. НИЛ. (НИУ "МЭИ")*

## **ВИБРОСТЕНД ДЛЯ СНЯТИЯ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА НА ПАВ**



**Рис. 1.** Схема установки вибростенда:  
1 — тензомер, 2 — тензорезистор,  
3 — резонатор на ПАВ, 4 — штатив,  
5 — генератор, 6 — пьезопластина

Датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ) могут использоваться, в том числе, для измерения вибраций объектов. Принцип датчиков на ПАВ основывается на изменении частотных характеристик от внешней среды и внешнего воздействия. Создание испытательного стенда для датчиков вибрации на ПАВ необходимо для снятия градуировочной характеристики датчика. Вибростенд должен представлять собой пластину пьезоэлектрика подобранную под необходимые частоты (см. рис. 1). С помощью генератора на пластину подается гармонический сигнал, вследствие чего пластина начи-

нает колебаться из-за явления обратного пьезоэффекта с заданной амплитудой и частотой. Корректность работы стенда в статическом режиме контролируется поверочными тензорезисторами.

Датчики на ПАВ резонаторах способны изменять свои частотные характеристики при механическом воздействии на них, что позволяет измерять механическую нагрузку, а именно измерять давление на датчик.

Разработанный стенд позволяет снять градуировочную характеристику датчиков на ПАВ, что может в дальнейшем использоваться для подбора ПАВ резонаторов в зависимости от условий их использования.

### **Литература**

1. **Бобцов А.А.** «Исполнительные устройства и системы для микроперемещений» А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев, П.В. Карев, Санкт-Петербург 2017 г.



*В.И. Расулева, студ.; рук. С.В. Литвинов (РТУ МИРЭА, Москва)*

## УСКОРЕНИЕ ЗАПИСИ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ STM32

Популярность применения микроконтроллеров STM32 в любительских разработках продолжает увеличиваться. Из-за высокой производительности, низкой стоимости и простоты освоения отладочные платы на базе STM32 получили широкое распространение. Для загрузки программного обеспечения (т.н. «прошивки») может использоваться встроенный в каждый STM32 загрузчик UART, работающий по протоколу AN3155. Из-за некоторых особенностей и существенной простоты протокола загрузка происходит в течение продолжительного времени. Так, при измерении начальной скорости прошивки, скорость составила: 178 секунд. В процессе отладки, когда нужно проверять каждое изменение, такая длительность существенно замедляет процесс разработки.

Исходя из алгоритма на любую команду приходится три этапа подтверждения: на код команды, на его адрес и на его данные. Интерфейс USB работает интервалами 1 мс, в конечном итоге на каждую из команд уходит по 3 мс в том числе и в случае когда необходимо записать всего 1 байт, что представляется нерациональным.

На рисунке 1 представлена временная диаграмма записи встроенного программного обеспечения, видны эти запросы и заметная задержка. Из этого можно сделать вывод о том, что передача данных по времени занимает меньше, чем время на запись и прошивку.

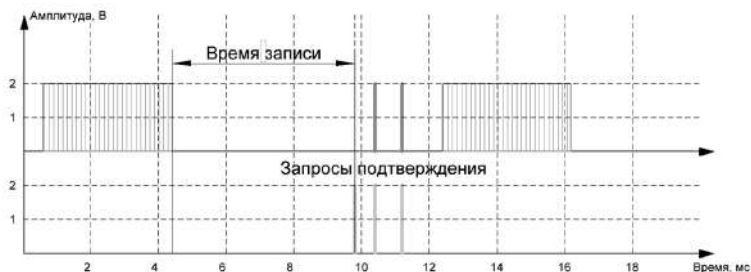


Рис. 1. Временная диаграмма записи одной команды

Таким образом учет всех этих особенностей может увеличить скорость загрузки программного обеспечения в микроконтроллеры STM32. Видится целесообразным разработка специализированного устройства, способного уменьшить время, необходимое для загрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

### Литература

1. Microsin.net // Microsin.net — AN3155: протокол загрузчика USART STM32, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <http://microsin.net/programming/arm/an3155-usart-stm32-bootloader-protocol.html> (дата обращения: 25.11.22)

## **Секция 2**

# **ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ**

## **Generation of oscillations and signals**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Удалов Николай Николаевич*

*Секретарь секции: Чеченя Сергей Александрович*

*Е.А. Казаков, студ.;  
рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ БЛОКА ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

При разработке автономных малогабаритных многофункциональных гидролокаторов возникает необходимость в разработке специальных блоков формирования гидроакустических сигналов в составе передающего тракта.

В работе рассматривается реализация блока формирования широкополосных гидроакустических сигналов. При проектировании модели блока формирования и усиления гидроакустических сигналов, основное внимание уделялось возможности формировать сигнал с максимальной выходной мощностью, при этом обеспечивая минимальный уровень искажений при заданных весогабаритных параметрах блока.

С целью минимизации весогабаритных показателей устройства предлагается использовать усилители класса D, управление которыми осуществляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1]. Подобные устройства, работающие в области звуковых частот, выпускаются массово, однако разработка таких устройств для более высоких частот является специальной задачей [2].

В качестве решения для повышения верхней рабочей частоты такого ключевого усилителя предлагается использовать транзисторы на основе карбида-кремния, обладающие лучшим быстродействием по сравнению с кремниевыми транзисторами [3].

Формировать информационный, модулирующий сигнал предлагается с использованием ШИМ-модуляторов на основе специализированных микроконтроллеров с аппаратными блоками поддержки ШИМ высокого разрешения.

В работе описываются особенности проектирования модели блока формирования гидроакустических сигналов на основе ШИМ модулятора и ключевого усилителя. Моделирование работы блока проводилось в САПР Micro-Cap. Проектирование высокоточного ШИМ модулятора осуществлялось на базе микроконтроллера STM32F334R8 в интегрированной среде разработки CubeIDE.

Представленные в работе модели и рекомендации могут быть использованы при проектировании трактов формирования широкополосных гидроакустических сигналов.

### **Литература**

1. **ИЕЕ Xplore:** An review of fully digital audio class D amplifiers topologies / R. Cellier [and oth.] // 2009 Joint IEEE North-East Workshop on Circuits and Systems and TAISA Conference. — IEEE Xplore, 2009. — Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5290459/authors#authors>. — Загл. с экрана.
2. **Deon, J.** Digital Pulse Width Modulation for Class-D Audio Amplifiers, / Deon Jacobs // University of Stellenbosch, — 2006. — P. 50–87.
3. Semiconductor Components Industries LLC. SiC MOSFETs: Gate Drive Optimization, 2022, — Rev. 2 — 22 p. — Режим доступа: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TND6237-D.PDF>. — Загл. с экрана.

*М.В. Рязановская, студ.; рук. Д.А. Фролов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УКРОЧЕННЫХ УРАВНЕНИЙ БИГАРМОНИЧЕСКОГО АВТОГЕНЕРАТОРА С КРАТНОСТЬЮ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ, РАВНОЙ ТРЁМ

В настоящий момент известно немало количество методов для понижения фазовых шумов в автогенераторе. Ранее [1] был предложен дополнительный метод, основанный на синхронизации двух гармоник в бигармоническом автогенераторе (БАГ) на кратных частотах.

Было обнаружено [2], что при увеличении генерируемой частоты инерционность активного элемента (АЭ) также увеличивается и анализа, проведённого в [1], становится недостаточно для выработки рекомендаций по проектированию БАГ на СВЧ.

В представленных выше исследованиях использовались колебания при  $n = 2$ , но в известной литературе нет анализа БАГ с инерционным АЭ при большей кратности частот. В настоящей работе получено решение системы укороченных уравнений БАГ в синхронном бигармоническом режиме при кратности гармоник  $n = 3$  для случаев:  $\tau \rightarrow 0$ ,  $\Delta\varphi \rightarrow 0$  и  $\tau \rightarrow 0$ ,  $\Delta\varphi \rightarrow \pi$ .

Система укороченных уравнений БАГ с инерционным АЭ при  $n = 3$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T_1}{x_1} \frac{dx_1}{dt} = c_1 R_1 \left( [1 - x_1^2 - 2x_2^2] \cos(\tau) - x_1 x_2 \cos(\tau - \Delta\varphi) \right) - 1; \\ \frac{T_2}{x_2} \frac{dx_2}{dt} = c_1 R_2 \left( [1 - x_2^2 - 2x_1^2] \cos(3\tau) - \frac{x_1^3}{3x_2} \cos(3\tau + \Delta\varphi) \right) - 1; \\ \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = \frac{3c_1 R_1}{T_1} \left( [1 - x_1^2 - 2x_2^2] \sin(\tau) - x_1 x_2 \sin(\tau - \Delta\varphi) \right) - \Delta\omega - \\ - \frac{c_1 R_2}{T_2} \left( [1 - x_2^2 - 2x_1^2] \sin(3\tau) - \frac{x_1^3}{3x_2} \sin(3\tau + \Delta\varphi) \right). \end{array} \right.$$

где параметры контуров:  $R_k$  — резонансные сопротивления,  $T_k = 2Q_k / \omega_{0k}$  — постоянные времени,  $\omega_{0k}$  и  $Q_k$  — собственные резонансные частоты и добротности;  $\Delta\omega$  — расстройка 2-го контура от точной кратности;  $x_k$ ,  $\varphi_k$  — амплитуды и фазы колебаний по  $k$ -й моде;  $k = 1, 2$ ;  $\Delta\varphi$  — обобщенная разность фаз;  $c_1 > 0$  — линейный коэффициент полинома, описывающего характеристику АЭ.

### Литература

1. **Tsarapkin, D.P.** Experimental verification of compensation phenomena in oscillators with two multiple modes / D.P. Tsarapkin, M.I. Chichvarin, I.A. Isakov // IEEE/EIA IFCS. — Kansas City, MO, U.S.A., 7–9 June 2000. — P. 463–470.
2. **Frolov, D.A.** [et al.] Computer modeling of a biharmonic oscillator. J. Phys.: Conf. Ser. 1658 012014 — 2020. — DOI: 10.1088/1742-6596/1658/1/012014.

*А.Д. Коржов, студ.; рук. Е.М. Торина, к.т.н. доцент (НИУ «МЭИ»)»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ И ФЛУКТУАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОКОЛЬЦЕВОГО RC-АВТОГЕНЕРАТОРА НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ**

RC-автогенераторы (RC-АГ) находят применение в разных областях радиотехники, например, такие схемы широко используются в датчиках, медицинских и измерительных приборах. RC-АГ имеют ряд преимуществ перед LC-АГ, особенно на частотах до единиц мегагерц: лучшие массо-габаритные показатели, низкая стоимость, простота реализации [1, 2].

В данной работе в качестве активного прибора выбрана схема с дифференциальным включением полевых транзисторов (ДАП ПТ), особенностью которого является пониженная модуляционная чувствительность и отсутствие четных гармоник в спектре выходного колебания. Благодаря высокому активному входному сопротивлению полевого транзистора, в отличие от схемы, рассмотренной в [2], его можно использовать без буферных каскадов. Кроме того, современные интегральные технологии позволяют изготавливать ДАП ПТ с заданными параметрами структур и высокой точностью обеспечения симметрии системы [3]. Однако полевые транзисторы имеют достаточно низкое значение крутизны проходной характеристики, что затрудняет получение больших значений коэффициента усиления, используя только один каскад. Поэтому в цепи обратной связи в данной работе используется мост Вина, требующий для компенсации потерь по кольцу обратной связи (ОС) и генерации колебаний коэффициент усиления, равный всего нескольким единицам.

Данная работа посвящена актуальной задаче оценки спектральной плотности мощности фазового шума (СПМ ФШ) автогенератора. С использованием метода укороченных символических уравнений С. И. Евтянова [1, 3], получены аналитические выражения для расчета СПМ ФШ. Показано, что основной вклад вносится шумами цепи ОС. Результаты проектирования схемы и расчета СПМ ФШ подтверждены с помощью компьютерного моделирования в пакете Advanced Design System.

### **Литература**

1. **Кулешов, В.Н.** Шумовые характеристики автогенераторов гармонических колебаний с режекторным RC-фильтром / В.Н. Кулешов, Т.И. Болдырева, Е.М. Дроздова [и др.] // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 51–55.
2. **Дроздова, Е.М.** Диапазонные RC-автогенераторы гармонических колебаний: дис. канд. техн. наук: 05.12.04 / Дроздова Елена Михайловна; НИУ МЭИ. — М., 2016. — С. 19–47.
3. **Болдырева, Т.И.** Основы схемотехники устройств на полевых транзисторах / Т.И. Болдырева, В.Н. Кулешов; под ред. В.Н. Кулешова. — М.: Изд-во МЭИ, 2020. — 108 с.

*А.Д. Феоктистов, студ.; В.А. Лойко, асп.;  
рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАЛОШУМЯЩИЙ АВТОГЕНЕРАТОР НА КООКСИАЛЬНОМ КЕРАМИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ**

С каждым годом системы связи и передачи информации предъявляют все более жёсткие требования к используемым в их составе источникам опорных сигналов в части массогабаритных показателей, температурной стабильности частоты, уровня спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов, стоимости. Существует несколько различных типов генераторов, в той или иной степени удовлетворяющих данным требованиям (с кварцевыми резонаторами, с резонаторами на поверхностных акустических волнах, на сосредоточенных LC-элементах и т.д.). Однако, по сравнению с ними в части качества формируемого сигнала, технологичности, трудоёмкости и дешевизны наиболее выигрышно выглядят автогенераторы с резонаторами на коаксиальных керамических резонаторах [1].

В работе рассмотрен малошумящий автогенератор СВЧ диапазона с коаксиальным керамическим резонатором, предназначенный для работы в широком диапазоне температур в аппаратуре двойного назначения, отличающийся от ближайших зарубежных аналогов более низким уровнем спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемого сигнала (до -117 дБн/Гц и до -140 дБн/Гц при отстройках от центральной частоты 2400 МГц на 10 кГц и на 100 кГц соответственно).

Новизна работы заключается в разработке научно обоснованной методики определения оптимального режима работы активного элемента, обеспечивающего минимальный уровень спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов.

В результате исследования авторами получены математическая и компьютерная модели, позволяющие оценить влияние различных компонентов схемы и режимов работы активного элемента на спектральную плотность мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов (-57 дБн/Гц, 89 дБн/Гц, -117 дБн/Гц, -140 дБн/Гц и -162 дБн/Гц на отстройках 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц и 1 МГц соответственно).

### **Литература**

1. **Reddy, H.V.M.** Design and simulation of L-band coaxial ceramic resonator oscillator / H.V.M. Reddy // 2016 IEEE Annual India Conference (INDICON) / ed. by H.V.M. Reddy. — Bangalore, 2016. — P. 1–6.

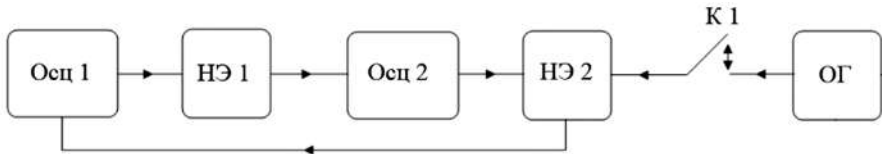
*С.А. Винокуров, асп.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРА ГРУБОГО ХАОСА НА ОСНОВЕ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Генераторы хаотических колебаний находят приложения в системах скрытной передачи данных, сверхширокополосной связи и локации, а также в устройствах информационной безопасности [1]. Одной из отличительной черт генераторов хаоса (ГХ) является сильная зависимость формы колебаний от начальных условий и значений параметров, что в ряде случаев ограничивает их практическое использование. Генераторы т.н. «грубого хаоса» отличаются от стандартных ГХ тем, что они не имеют значительной зависимости от начальных условий, что позволяет сохранить устойчивую генерацию при изменении начальных условий или параметров вследствие, например, флуктуаций [1].

Известны математические модели грубого хаоса, описанные в литературе [2]: осциллятор Чуа, соленоид Смейла-Вильямса, система на основе тройного шарнирного механизма Тёрстона и Уикса, уравнение Свифта-Хоэнберга с периодическим переключением между пространственными гармониками, кольцевая неавтономная система связанных осцилляторов [2].

В работе исследована схема генератора грубого хаоса [2] в виде кольцевой неавтономной системы двухсвязанных через нелинейные элементы (НЭ1, НЭ2) осцилляторов (Осц1 и Осц2) с обратной связью. Неавтономность задается опорным генератором (ОГ) и ключом (К1) (рис. 1).



**Рис. 1.** Блок-схема генератора грубого хаоса, построенного на основе кольцевой неавтономной системы

По результатам исследования схемы предложена ее техническая реализация в виде двухсвязанных трехточечных АГ и встречно включенных диодов. Реализация ГХ, устойчивого к изменениям начальных условий, даст возможность реализовать в перспективе генераторы псевдослучайной последовательности, широкополосную связь и системы скрытой связи.

### Литература

1. **Дмитриев, А.С.** Генерация хаоса / А.С. Дмитриев, Е.В. Ефремова, Н.А. Максимов. — М.: Техносфера, 2012. — 424 с.
2. **Круглов, В.П.** Кольцевой неавтономный генератор гиперболического хаоса / В.П. Круглов // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2010. — Т. 18, № 5. — С. 138–150.

М.М. Козлов, студ.; рук. Д.А. Фролов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## СРАВНЕНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕАЛИЗАЦИЙ ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА

Автогенераторы, управляемые по частоте напряжением (ГУН), имеют частотную нестабильность, что критично для точного обнаружения цели в радиолокации. Для коррекции и стабилизации выходного сигнала в радиолокации применяется система фазовая автоподстройка частоты. За сравнение двух сигналов отвечает фазовый детектор (ФД), который находит ошибку рассогласования между опорным и выходным сигналом с ГУН [1].

При проектировании ФД учитывается частота работы схемы, фазовые шумы, требуемая скорость перестройки. В зависимости от технического задания на изделие применяется одна из схем [2]: аналоговая или цифровая.

На рис. 1 приведена цифровая схема фазового детектора на элементе «исключающее ИЛИ». Принцип работы схемы заключается в сравнении фаз  $f_{оп}$  и  $f_{гун}$ . Логический элемент выявляет ошибку рассогласования и на выходе формирует управляющее напряжение для коррекции частоты.

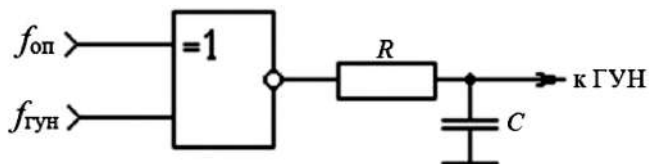


Рис. 1. Цифровая схема фазового детектора

Одна из проблем разработки ФД: «Какую схемотехническую реализацию использовать?». Аналоговые и цифровые схемы имеют принципиальные отличия в характеристиках и методах сравнения сигналов.

Целью работы является написание рекомендаций для выбора схемотехнической реализации в зависимости от частоты работы устройства и допустимых фазовых шумов. Для выполнения работы требуется провести моделирование в САПР «Advanced Design System» в диапазоне частот от 100 кГц до 10 ГГц.

В результате работы написана рекомендация по выбору аналоговой или цифровой схемы в зависимости от технического задания на устройство.

### Литература

1. **Перов, А.И.** Радиоавтоматика: учебник для вузов / А.И. Перов, В.Н. Замолотчиков, В.М. Чиликин. — М.: Радиотехника, 2014. — 320 с.
2. **Шапиро, Д.Н.** Основы теории синтезатора частот / Д.Н. Шапиро., А.А. Паин. — М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.



М.А. Кошкин, студ.; рук. А.Р. Сафин, доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА НА СФЕРЕ ИЗ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

Благодаря своим уникальным свойствам железо-иттриевый гранат (ЖИГ) широко применяется в различных устройствах СВЧ-диапазона, включая перестраиваемые фильтры и генераторы [1]. Преимущества ЖИГ-генераторов заключаются в большом диапазоне рабочих частот (0,5–40 ГГц), при этом проявляется довольно низкий уровень фазовых шумов. Такие генераторы обеспечивают сверхширокую перестройку частоты с малыми отклонениями вариаций мощности по диапазону перестройки [1]. К примеру, для повышения точности радарных систем необходимо предельное снижение уровня фазовых шумов, а для защиты от шумового противодействия необходимо иметь возможность быстрой перестройки частоты опорного сигнала.

В данной работе впервые исследована схема магнитоэлектронного генератора (МЭГ), построенного на основе нелинейной модели сферы ЖИГ и представлена методика расчета при замещении резонатора эквивалентной схемой, содержащей нелинейные элементы. В качестве исходных элементов модели генератора применялась нелинейная модель ЖИГ-резонатора КГ30 и модель Гуммеля–Пуна биполярного  $p$ - $r$ - $n$ -транзистора VFP650 фирмы Infineon. В данной схеме (рис. 1):  $L_1, L_2, R_1, R_2, C_1, C_2, VD_1, VD_2$  — элементы нелинейной модели ЖИГ-резонатора, выделенной пунктиром. Транзистор питается от двухполярного источника питания ( $U_1$  и  $U_2$ ),  $C_3, L_4$  и  $C_4, L_5$  — фильтры низких частот  $C_5$  и  $C_6$  разделительные конденсаторы,  $L_3$  — индуктивность обратной связи.  $X_1$  — вход активной части,  $X_2$  — выходной порт,  $R_H$  — нагрузка генератора, VT — транзистор.

В результате работы была исследована модель магнитоэлектронного генератора и дана методика расчета для последующего моделирования.

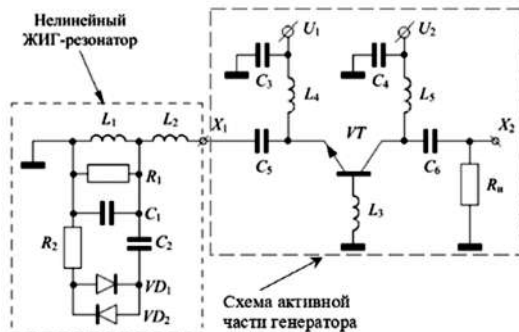


Рис. 1. Принципиальная схема МЭГ с нелинейной моделью ЖИГ-резонатора

### Литература

1. Кувшинов, В. ЖИГ-генераторы и синтезаторы частот компании Micro Lambda Wireless / А. Майстренко, В. Кувшинов // Компоненты и технологии. — 2015. — № 9. — С. 34–38.

А.А. Епифанов, асп.; рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ БОРТОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время в радиопередающей аппаратуре актуальна проблема одновременного достижения энергетической и спектральной эффективности при высоких требованиях к уровню внеполосных излучений. Перспективными для улучшения характеристик усилителей мощности являются цифровые алгоритмы коррекции линейности амплитудно-фазовых метрик усилителей мощности с учётом эффекта памяти.

Нейросетевая предсказывающая коррекция линейности [1] выполняется в модуляторе по схеме с непрямым обучением рисунка 1, где НБ — нелинейный блок без памяти. ЛИБ — линейный инерционный блок; К — малосигнальное усиление,  $e(n)$  — сигнал ошибки. Приведены результаты моделирования процесса.

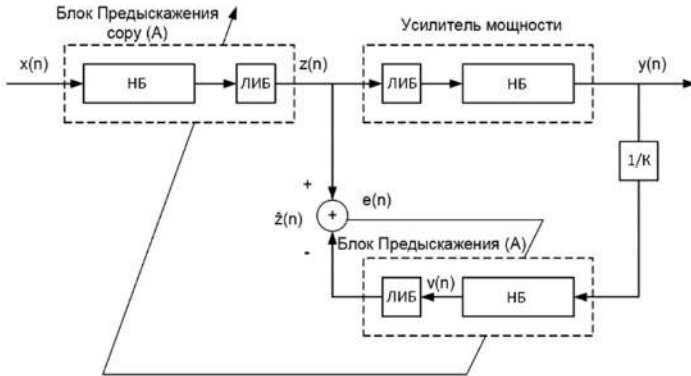


Рис. 1. Схема процесса непрямого обучения цифрового нейросетевого линейризатора для усилителя мощности

В докладе приведен сопоставительный анализ аппаратных решений для обработки информационного потока с помощью специализированных микросхем тензорных вычислений для нейронных алгоритмов. Представлены специализированные отечественные микросхемы [2] и новые решения для упрощения аппаратной реализации нейросетевого алгоритма.

### Литература

1. Ки, Л.В. Повышение эффективности систем цифрового вещания при OFDM-модуляции радиосигнала / Ле Ван Ки / дисс. к.т.н. — 05.12.04. — МФТИ, 2018. — 133 с.
2. Микропроцессор IVA TPU / Режим доступа: <https://iva-tech.ru/catalog/product-mikroprotessor-iva/>

*Д.О. Даниленко, студ.; В.А. Лойко, асп.;  
рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОГЕНЕРАТОР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ**

Современные высокочувствительные радиолокационные системы диктуют жёсткие требования к применяемым в их составе источникам опорных сигналов в части высокой долговременной стабильности частоты и низкого уровня спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов [1]. В настоящее время, нет универсальной методики расчёта фазового шума для СВЧ-радиотехнических устройств, по причине того, что природа появления фазового шума сложна и слабо изучена. Цель данной работы заключается в разработке научно обоснованной методики определения спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов, исходя из схемы, математической и компьютерной модели автогенератора.

В работе были выведены укороченные уравнения для автогенератора на двух-портовом ПАВ-резонаторе, рассмотрена методика расчёта спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемого сигнала, был проведён сравнительный анализ результатов измерений спектральной плотности мощности частотных флуктуаций с анализатора фазового шума с результатами расчёта полученной математической и компьютерной модели.

В результате исследования авторами были получены математическая и компьютерная модели, с помощью которых была рассчитана спектральная плотность мощности фазового шума. В перспективе модель позволит оптимизировать разработку прецизионного радиотехнического оборудования на этапе проектирования.

### **Литература**

1. **Добровольский, А.А.** Сверхмалошумящий ПАВ-генератор СВЧ-диапазона на отечественной элементной базе для жестких условий эксплуатации / А.А. Добровольский, В.А. Лойко // СВЧ-электроника. — 2019. — № 3. — С. 14–18.

С.И. Горбунов, студ.; рук. Д.А. Фролов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНОГАРМОНИЧЕСКОГО АВТОГЕНЕРАТОРА СВЧ НА МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

При разработке приемопередающих устройств возникает задача моделирования опорного генератора. Однако, при физической реализации автогенератора могут возникать паразитные связи между конструктивными элементами печатной платы, которые могут привести к генерации мешающих колебаний. В процессе наладки, оператор должен обеспечить отсутствие мешающих колебаний. Известно, что автогенератор можно описать трехточечной моделью, которая определяет условие возникновения колебаний [1].

На рис. 1. представлена топология микрополоскового автогенератора, спроектированного на частоту 10 ГГц, выполненного на SiGe — транзисторе BFP650, на подложке RO3003 от Rogers Corp. Моделирование произведено в среде проектирования Microwave Office [2].

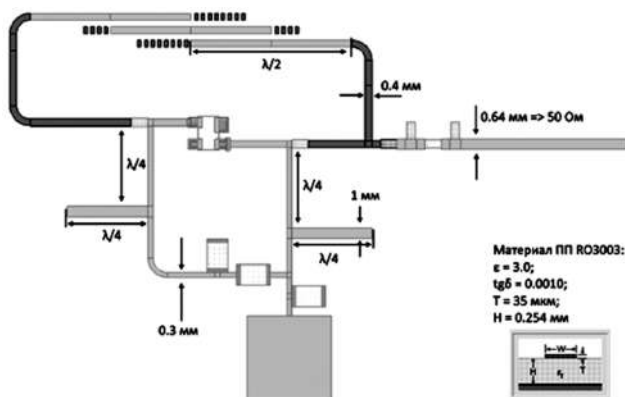


Рис. 1. Топология микрополоскового автогенератора  
 $\lambda$  — длина волны

В работе представлены результаты расчетов, моделирования, топологическая схема, а также результаты натурального эксперимента. Полученные данные можно использовать в дальнейшем, при проектировании других сверхвысокочастотных генераторов.

### Литература

1. **Воробьев, М.С.** Транзисторные автогенераторы: учебное пособие / М.С. Воробьев. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. — 75 с.
2. **Разевиг, В.Д.** Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин // Под ред. В.Д. Разевига. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 496 с.

П.К. Захаров, студ., Л.А. Цырульникова, асп.;  
рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДУЛЬ, МОДЕЛИРУЮЩИЙ СВЯЗАННЫЕ УРАВНЕНИЯ ЛАНДАУ-ЛИФШИЦА-ГИЛЬБЕРТА

В настоящее время спинтроника получает широкое применение. Для дальнейшего анализа функциональных устройств на ферромагнитных материалах были созданы «строительные блоки» — модули в Matlab [1]. Данные модули отражают процессы в ферромагнитных материалах и с их помощью можно собирать и в дальнейшем моделировать то или иное радиотехническое устройство. Активно набирают популярность и антиферромагнетики (AFM), которые стоят отдельного внимания со стороны ученых и инженеров.

В данной работе был разработан модуль, описывающий связанные уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта (LLG) — основное уравнение, описывающее движения вектора намагниченности в твердом теле — в антиферромагнетике (рис. 1).

На вход AFM LLG подаются переменные: дипольное поле ( $\vec{H}_D$ ), поле размагничивания ( $\vec{H}_N$ ), спиновый ток ( $\vec{J}_S$ ), обменное поле ( $H_{ex}$ ), поле анизотропии ( $\vec{H}_A$ ) и константа затухания Гильберта ( $\alpha_G$ ). На выходе AFM LLG будут получены намагниченности первой ( $\vec{M}_1(t)$ ) и второй подрешеток ( $\vec{M}_2(t)$ ). В данной работе был разработан модуль в Matlab, моделирующий связанные уравнения LLG. Это один из базовых модулей, необходимых для моделирования составных устройств, включающих как спинтронные, так и наномангнитные явления. Такой модульный подход может построить прочный мост между учеными-материаловедами и разработчиками схем в области спинтроники и наномангнетизма.

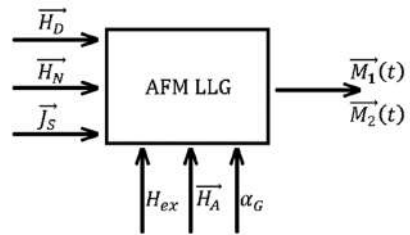


Рис. 1. Антиферромагнитный модуль, моделирующий связанные уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта

### Литература

1. Camsari, K.Y. Modular Approach to Spintronics / K.Y. Camsari, S. Ganguly, S. Datta // Scientific Reports. — 2015. — P. 3–11.

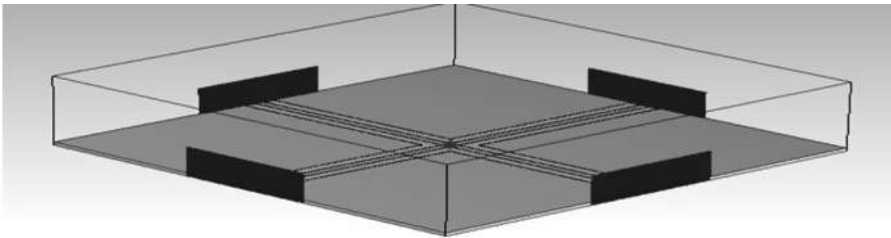
*Д.В. Полозов студ.;  
рук. Д.А. Габриелян, А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛОСКОВЫМИ ЛИНИЯМИ ПЕРЕДАЧИ**

Возбуждение электромагнитных (ЭМ) волн с круговой поляризацией магнитного поля является важной задачей в области магнетизма, так как она дает возможность изменять намагниченность магнитных материалов. Поэтому возникает потребность в разработке устройств, способных возбуждать круговую поляризацию магнитного поля, для того чтобы изменить магнитное поле, а тем самым изменить ширину линии спектра ферромагнитного резонанса и ее форму.

В данной работе рассматривается скрещенная копланарная линия передачи (КЛП), так как она имеет преимущества, в сравнении с другими линиями передачи, а именно, широкую полосу частот и малые габариты.

Круговую поляризацию магнитного поля требовалось получить не только на поверхности КЛП, но и в некотором пространстве над ней. В основе метода получения круговой поляризации лежит сложение двух ортогональных ЭМ волн [1]. Данный научный материал, модели КЛП со скрещенной структурой, изложенный в работе, имеет недостаток, а именно невозможность точного изготовления в реальных условиях. По этой причине была промоделирована скрещенная КЛП (рис. 1), в которой в широком диапазоне частот можно управлять коэффициентом эллиптичности в зависимости от разности фаз ЭМ волн.



**Рис. 1.** Модель скрещенной КЛП

Полученные результаты показывают, что в каждой точке получается эллиптическая поляризация, с коэффициентом эллиптичности  $k = -0,94$  (ср. знач.), что является близким значением к круговой поляризации. Скрещенная КЛП является наилучшим вариантом для возбуждения магнитных материалов в широком диапазоне частот ЭМ полем с круговой поляризацией магнитного поля.

### **Литература**

1. **Кан, I.** Circularly polarized magnetic field generated by two microfabricated crossed coplanar waveguides / I. Kan [et al] // Applied Physics Letters. — 2017. — Vol. 110, № 20. — P. 1–4.

*Е.И. Евсинейкина, студ., Л.А. Цырульникова, асп.;  
рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

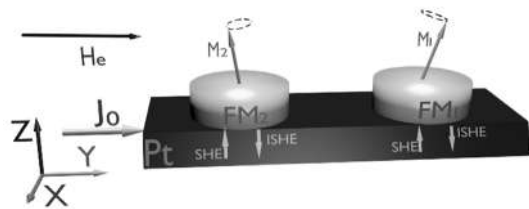
## ВЗАИМНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВУХ СПИТРОННЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ СПИНОВЫМ ТОКОМ

Возбуждение колебаний в наноразмерных магнитных структурах за счет эффекта переноса крутильного момента вызывает в последние годы большой интерес в связи с перспективами создания миниатюрных и широко перестраиваемых микроволновых осцилляторов и детекторов. Основными недостатками спинтронных осцилляторов (СО) являются низкая выходная мощность генерируемых колебаний (от долей пиковатт до сотен микроватт) и большая ширина спектральной линии (десятки мегагерц на частоте в единицы гигагерц). Для улучшения этих характеристик используется синхронизация многих СО.

В данной работе на основе Гамильтонова формализма [1] построена теоретическая модель, описывающая динамику намагниченности в системе связанных СО (рис. 1) и, позволяющая количественно рассчитать диапазон параметров, при которых наступает синхронизация.

Была вычислена полоса взаимной синхронизации, как функция расстояния между осцилляторами и плотностью пропускаемого через тяжелый металл тока.

Взаимносинхронизированные ансамбли СО могут быть использованы при построении синтезаторов дискретной сетки частот в диапазоне СВЧ, а также аппаратно реализованных нейроморфных сетей.



**Рис. 1.** Модель из двух связанных спиновым током осцилляторов FM<sub>1</sub>, FM<sub>2</sub> — ферромагнетики, расположенные на слое тяжелого металла — платины (Pt);  $J_0$  — электрический ток, протекающий через слой платины;  $M_1$ ,  $M_2$  — векторы намагниченности;  $H_e$  — постоянное магнитное поле направленное вдоль оси Y. SHE — эффект Холла; ISHE — обратный эффект Холла

### Литература

1. **Marković, D.** Physics for neuromorphic computing / A. Mizrahi, D. Querlioz, [et al.] // Nat Rev Phys., 2020. — Vol. 2. — P. 499–510. — Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/339840879\\_Physics\\_for\\_Neuromorphic\\_Computing](https://www.researchgate.net/publication/339840879_Physics_for_Neuromorphic_Computing). — Загл. с экрана
2. **Slavin, A.** Nonlinear Auto-Oscillator Theory of Microwave Generation by Spin-Polarized Current / A. Slavin, V. Tiberkevich // IEEE Trans. on Magn. — 2008. — Vol. 44. No. 7. — P. 1916–1927. — Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/224395338\\_Nonlinear\\_Auto-Oscillator\\_Theory\\_of\\_Microwave\\_Generation\\_by\\_Spin-Polarized\\_Current](https://www.researchgate.net/publication/224395338_Nonlinear_Auto-Oscillator_Theory_of_Microwave_Generation_by_Spin-Polarized_Current). — Загл. с экрана

Г.С. Брыкин, студ.; рук. М.В. Белодедов к.ф.-м.н., доц.  
(МГТУ им. Баумана, Москва)

## ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ МОДУЛЯТОР НА ДИСКРЕТНЫХ КОМПОНЕНТАХ

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) находит широкое применение в современной электронике, поскольку позволяет существенно повысить эффективность ряда устройств. Промышленностью выпускается ряд широтно-импульсных модуляторов и контроллеров на основе интегральных микросхем (ИМС), которые активно используются для решения большинства задач, где требуется ШИМ. Известны, однако, существенные недостатки современных интегральных формирователей ШИМ, обусловленные технологией их изготовления. Основным недостатком является чувствительность даже к кратковременным перенапряжениям, а также мощным электромагнитным полям.

Целью работы являются натурные испытания разработанного автором [1] ШИМ-модулятора дискретных биполярных транзисторах по схеме, показанной на рис. 1, которая лишена некоторых недостатков ИМС и может выпускаться промышленно в виде сборки с использованием выводных или поверхностно монтируемых компонентов.

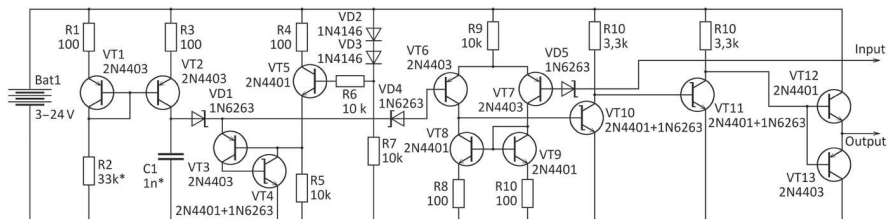


Рис. 1. Электрическая схема разработанного широтно-импульсного модулятора

Предполагаемая область применения устройства — преобразователи напряжения, регуляторы мощности и усилители низкой частоты, работающие в труднодоступных местах и/или в условиях высокого уровня электромагнитных и ионизирующих излучений.

В докладе приведены результаты испытаний схемы в диапазоне питающих напряжений от 3 до 24 В. В процессе испытаний максимальная испытательная частота составляла 50 кГц, Выходной ток схемы имел значение от 230 мА до 0,6 А.

### Литература

1. Брыкин, Г.С. Широтно-импульсный модулятор на транзисторах. [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://cxem.net/pitanie/5-416.php> (дата обращения: 06.12.2022).



**Секция 3**  
**УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ**  
**Radio signal processing devices**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Лишак Михаил Юрьевич*

*Секретарь секции: Филатов Виктор Александрович*

*Пью Аунг Чжо, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ АЛГОРИТМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КАМ-МОДЕМА НА БАЗЕ ОДНОРОДНЫХ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ**

Известны фильтровые системы передачи дискретной информации, реализуемые на базе цифровых вещественных фильтров [1]. В докладе приводятся результаты разработки многоканального параллельно-последовательного КАМ-модема с различными центральными частотами на базе однородных цифровых комплексных полосовых КИХ-фильтров [2], предназначенного для реализации разработанных алгоритмов системы передачи данных на микроконтроллере. Использование однородных комплексных КИХ-фильтров позволяет получить симметричные несущие ортогональные сигналы.

Для нахождения структурных схем однородных цифровых комплексных полосовых КИХ-фильтров используется метод комплексной задержки [3]. В этом случае имеется возможность организовать перестройку центральных частот цифровых комплексных фильтров без изменения формы частотной характеристики. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов. Используемые однородные комплексные КИХ-фильтры имеют линейную фазочастотную характеристику и, соответственно, симметричную импульсную характеристику. Если в качестве несущих сигналов использовать симметричные импульсные характеристики цифровых комплексных КИХ-фильтров с линейными ФЧХ, то в качестве согласованных фильтров в демодуляторе можно использовать такие же цифровые комплексные КИХ-фильтры, как в модуляторе.

Приводятся результаты схемотехнического моделирования параллельно-последовательного модема системы передачи данных с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ-16) в среде MicroCap.

Излагаются разработанные алгоритмы реализации систем передачи данных на микроконтроллерах и экспериментальные результаты измерений с помощью макета, реализованного на двух отладочных платах.

### **Литература**

1. **Балашов В.А., Воробийченко П.П., Ляховецкий Л.М.** Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами. — М.: Эко-Трендз, 2012.
2. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
3. **Гребенко Ю.А., Акар Мью.** Проектирование цифровых комплексных фильтров методом комплексной задержки // Вестник МЭИ. 2009. № 1. С. 70–72.

*Пью Аунг Чжо, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КАМ-МОДЕМА НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ БЕССЕЛЯ**

Систему передачи данных с КАМ можно создать на базе цифровых вещественных БИХ-фильтров [1]. В докладе приводятся результаты разработки и реализации на микроконтроллере алгоритмов параллельно-последовательного КАМ-модема на базе цифровых комплексных полосовых БИХ-фильтров с НЧ-прототипами Бесселя. Использование цифровых комплексных полосовых БИХ-фильтров Бесселя позволяет получить ортогональные несущие сигналы.

Рассматривается процедура расчёта цифрового комплексного полосового фильтра с НЧ-прототипом Бесселя 4-го порядка [2]. Для нахождения структурной схемы цифрового комплексного полосового БИХ-фильтра используется метод комплексной задержки, который позволяет без дополнительных расчетов получать структурные схемы цифровых комплексных полосовых БИХ-фильтров [2]. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов. Цифровой БИХ-фильтр Бесселя имеет близкую по форме к линейной фазочастотную характеристику и, соответственно, близкую к симметричной импульсную характеристику. В этом случае в качестве согласованных фильтров в демодуляторе можно использовать такие же рекурсивные комплексные фильтры Бесселя, аналогичные фильтру в модуляторе.

Излагаются результаты схемотехнического моделирования параллельно-последовательного КАМ-модема системы передачи данных в среде MicroCap на базе банков цифровых комплексных полосовых БИХ-фильтров с НЧ-прототипами Бесселя 4-го порядка.

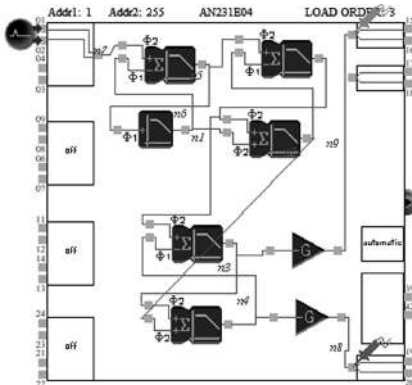
Приводятся алгоритмы реализации модема на микроконтроллерах и результаты экспериментального исследования макета, реализованного на двух отладочных платах.

### **Литература**

1. **Балашов В.А., Воробийченко П.П., Ляховецкий Л.М.** Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами. — М.: Эко-Трендз, 2012.
2. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

Ян Лин Пайнг, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ КАМ-МОДЕМ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА С НЧ-ПРОТОТИПОМ БЕССЕЛЯ



**Рис. 1.** Функциональная схема комплексного аналогового полосового фильтра на ПАИС

экспериментального макета на базе двух ПАИС типа AN231E04 компании Anadigm [2].

В докладе приводятся результаты проведенного моделирования и экспериментальных измерений.

### Литература

1. Гребенко Ю.А., Аунг Ко Мин Проектирование комплексных полосовых фильтров на базе программируемых аналоговых интегральных схем // Электросвязь, 2020, № 8.
2. [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://www.anadigm.com/\\_doc/UM000231-U001.pdf](https://www.anadigm.com/_doc/UM000231-U001.pdf)

В докладе рассматриваются результаты разработки и реализации КАМ-модема на базе комплексных аналоговых полосовых фильтров с НЧ-прототипом Бесселя третьего порядка. Звенья для фильтров рассчитываются с использованием САПР AnadigmDesigner2 и реализуются на программируемой аналоговой интегральной схеме (ПАИС) по методике, изложенной в [1]. Функциональная схема фильтра приведена на рис. 1.

С помощью такого фильтра формируются ортогональные сигналы, которые модулируются цифровыми данными.

Работа КАМ-модема была промоделирована в среде MicroCap, а затем модем был изготовлен в виде экспериментального макета на базе двух ПАИС

Ян Лин Пайнг, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ КАМ-МОДЕМ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА С НЧ-ПРОТОТИПОМ БАТТЕРВОРТА

В докладе рассматриваются результаты разработки КАМ-модема с использованием комплексного аналогового полосового фильтра с НЧ-прототипом Баттерворта третьего порядка в модуляторе и микроконтроллера с цифровой обработкой передаваемых данных в демодуляторе. Модулятор рассчитывается с использованием САПР AnadigmDesigner2 и реализуется на программируемой аналоговой интегральной схеме (ПАИС) по методике [1]. Функциональная схема фильтра приведена на рис. 1.

С помощью такого фильтра формируются ортогональные сигналы, подвергаемые КАМ-модуляции цифровыми данными. В демодуляторе на базе микроконтроллера создается обратный цифровой КИХ-фильтр по методике [2]. Отладка программного обеспечения выполнялась в среде программирования Keil uVision.

Работа последовательной системы передачи данных моделировалась в среде MicroCap. Модем реализован в виде экспериментального макета с использованием ПАИС типа AN231E04 компании Anadigm [3] и микроконтроллере STM32F4. В докладе приводятся результаты проведенного моделирования и экспериментальных измерений.

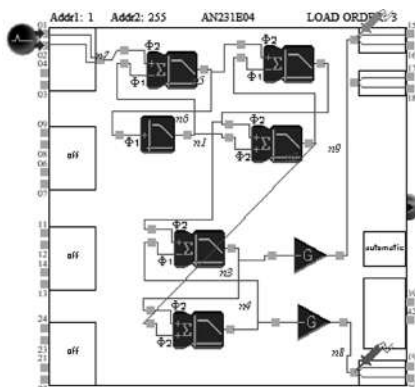


Рис. 1. Функциональная схема комплексного аналогового полосового фильтра на ПАИС

### Литература

1. Гребенко Ю.А., Аунг Ко Мин Проектирование комплексных полосовых фильтров на базе программируемых аналоговых интегральных схем // Электросвязь, 2020, № 8.
2. Гребенко Ю. А., Поляк Р. И., Стариковский А. И., Куликов Г. В. Цифровые методы линеаризации фазочастотных характеристик аналоговых фильтров // Радиотехника и электроника, 2019, том 64, № 2.
3. [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://www.anadigm.com/\\_doc/UM000231-U001.pdf](https://www.anadigm.com/_doc/UM000231-U001.pdf)

А.И. Гуштин, асп.; рук. Н.Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПАИС СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Рассматриваемое в докладе устройство является составной частью бортовой электронной аппаратуры, практическая реализация которой должна удовлетворять многочисленным требованиям космической отрасли, в том числе стойкости к специальным факторам. Этим определяется выбор реализации на отечественной программируемой аналоговой интегральной схеме (ПАИС) типа 5400ТР035 [1].

Реализуемая на ПАИС схема управления источником вторичного электропитания представлена на рис. 1.

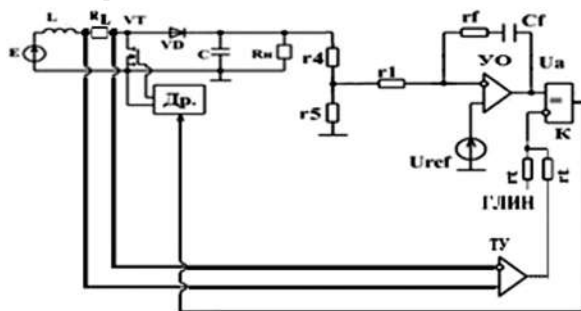


Рис. 1. Схема управления источником вторичного электропитания

Схема содержит усилитель ошибки (УО), токовый усилитель (ТУ), генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) и компаратор (К). Задаются выходы для входных воздействий обратной связи по напряжению и току и для выходного импульсного сигнала.

В [2] приведены полученные с помощью САПР Electric VLSI Design System результаты реализации на внутренних блоках ПАИС фрагмента этой схемы в виде блока обработки сигнала обратной связи по напряжению, включающего усилитель ошибки и компаратор.

В данном докладе представлено решение задачи реализации разработанной схемы на внутренних блоках ПАИС в полном объеме. Выполнено SPICE-моделирование работы схемы. Контроль ее функционирования выполнен с помощью осциллографа.

### Литература

1. [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://dcsoyuz.ru/files/PAIS/5400TP035/specifikacija\\_5400tr035\\_ver2.1.pdf](https://dcsoyuz.ru/files/PAIS/5400TP035/specifikacija_5400tr035_ver2.1.pdf)
2. Гуштин А.И. Разработка блока обработки сигнала на базе ПАИС для управления источником питания // Радиотехника, электротехника и энергетика. Тез. докл. XXVIII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга». 2022. С. 42.

*В.А. Белов, студ.; рук-ли М.Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
А.М. Ананьев, зам. нач. отдела (ПАО «НПО «Алмаз»)*

## **ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ В РЛС С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ СИГНАЛОМ**

В докладе приведены результаты исследования характеристик модели алгоритма цифровой обработки квазинепрерывного сигнала и алгоритма слежения, а также проведено сравнение двух методов вычисления коэффициентов аппроксимации дальности — квадратичной аппроксимации и на основе ортогонального проектирования.

Сопровождаемая траектория строится на основе совокупности радиолокационных отметок цели. В соответствии с заданным алгоритмом обработка сигнала производится в несколько этапов. На первом этапе формируется цифровая комплексная огибающая сигнала и производится её накопление и децимация в каналах дальности. Для вычисления матрицы «дальность–скорость», которая представляет собой массив, сформированный из дискретных отсчётов модуля спектра, соответствующих различным каналам дальности, вычисляется дискретное преобразование Фурье с предварительным умножением отсчётов на оконную функцию. После формирования матрицы «дальность–скорость» производится обнаружение отметки и определяется номер канала дальности и канала скорости, в которых уровень сигнала превышает уровень адаптивного порога. Для окончательного измерения дальности формируются три опорных строка (триада), выставленных по найденным информационным параметрам в матрице «дальность–скорость». После получения достаточного числа радиолокационных отметок для завязки траектории производится аппроксимация последовательности отсчетов измеренной дальности согласно одному из двух методов вычисления полиномиальных коэффициентов. Затем производится экстраполяция дальности на следующий такт [1]. Параллельно с этим согласно заданному закону движения формируется истинная траектория цели для оценки точности экстраполяции.

Исследование проводится на основе разработанной модели в единой среде разработки «Qt Creator» [2] на языке программирования C++. Результаты моделирования подтверждают эффективность рассмотренных алгоритмов обработки сигнала и формирования траектории цели.

### **Литература**

1. **Сколник И.** Справочник по радиолокации. Книга 1. — М.: Техносфера, 2014.
2. **Шлее М.** Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++. — СПб: БХВ-Петербург, 2018.

*Д.С. Селин, студ.; рук. П.С. Остапенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОШУМЯЩЕГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРИЁМНИКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ**

Представленная работа является логическим продолжением [1]. Моделирование малошумящего гидроакустического приёмника широкополосных сигналов проводилось с целью практического применения и использования приёмного устройства в прикладных задачах.

Основной целью работы является проектирование и создание модели малошумящего приёмника для гидроакустических модемов.

Одной из задач, решаемых в работе, был расчёт основных параметров аналоговой части гидроакустического приёмника, таких как требуемое усиление, чувствительность, шумовые параметры. Расчёт проводился в САПР «Matlab» [1]. Второй задачей, решаемой в работе, было проектирование и уточнение модели приёмника с использованием САПР «Micro-Cap», учитывающий особенности элементной базы, температурные изменения среды и некоторые другие параметры.

Модель аналоговой части малошумящего гидроакустического приёмника широкополосных сигналов состоит из приёмной антенны, усилительных каскадов, обеспечивающих согласование и усиление сигнала, полосового фильтра для предварительной фильтрации сигнала до аналого-цифрового преобразования.

Оценка основных характеристик приёмника с учётом разброса параметров элементной базы, температурных изменений проводилась на основе модели в САПР «Micro-Cap».

Оптимизация структуры и параметров приёмника осуществлялась с целью добиться минимизации шумов при требуемом усилении сигнала.

Конструкторские решения, и модели, связанные с проектированием малошумящего приёмника, могут применяться в системах гидроакустической связи и гидролокации.

### **Литература**

1. **Селин Д.С.** Моделирование широкополосного корреляционного приёмника гидроакустической связи // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. XXVIII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга». 2022. С. 39.



*А.Ю. Трофимов, студ.; рук. А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ K1986BE91T**

Представленная в докладе работа выполнена в обеспечение модернизации системы пожарного извещения с использованием извещателя ИП212-3. Указанный извещатель — это автоматическое оптико-электронное устройство сигнализации о появлении дыма в закрытых помещениях зданий и сооружений. Используется его токовый выход, нагруженный шунтирующим резистором, где формируется напряжение, соответствующее току срабатывания. Далее это напряжение обрабатывается приёмным устройством на микроконтроллере.

В работе разрабатывалась схема подключения извещателя к приёмному устройству и алгоритм обработки и анализа выходных величин напряжения с извещателя на портах микроконтроллера. Отечественный микроконтроллер K1986BE91T позволяет осуществить необходимые операции и обеспечить автоматизацию и ускорение процесса обнаружения загораний.

Алгоритм представляет собой программный код на языке С, который с помощью среды программирования KEIL и программатора записывается в память микроконтроллера для выполнения необходимых инструкций.

Использование аналого-цифровых преобразователей, интегрированных в порты микроконтроллера, обеспечивает цифровизацию полученных с извещателя величин напряжения и даёт возможность цифровой обработки и анализа этих данных в реальном времени. Таким образом достигается увеличение скорости определения режима работы извещателя, соответствующего оповещения и передачи сообщения на управляющее устройство. С учетом особенности извещателя не переключаться автоматически в нормальный режим после режима срабатывания алгоритм дополнен возможностью отключения питания на 4 секунды для дистанционной проверки работоспособности извещателя.

Результаты работы позволили экспериментально исследовать процесс измерения и обработки данных в приёмном устройстве в различных режимах извещателя и подтвердили ускорение процесса обнаружения загорания.

### **Литература**

1. [Электронный ресурс]. <https://support.milandr.ru/upload/iblock/170/vn8t3glqnocqcnrc4p1y3g79zpiviae/K1986BE92QI.pdf>

*А.О. Ходакова, студ.; рук. В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СТАНДАРТА LoRa**

В настоящее время есть большая потребность в средствах локального беспроводного контроля и мониторинга функционирования различных электронных устройств, например, для систем «Умного дома» или «Интернета вещей». Существующие устройства часто имеют закрытые решения, функционирующие только в рамках экосистемы производителя, что не позволяет использовать их в другие разработках, провести модернизацию или расширить набор функций. Важным параметром, определяющим срок автономного функционирования устройств в системе, является потребляемая мощность при передаче данных. В работе исследуется этот параметр при использовании различных видов модуляции, в том числе и перспективного метода передачи цифровых данных по стандарту LoRa [1].

Для проведения исследований создан экспериментальный стенд, в состав которого входят радиомодули компании Semtech типа SX127x [2], управляющий микроконтроллер, а также измерительное и отладочное оборудование. В качестве источников информации для мониторинга могут подключаться базовые датчики, измеряющие параметры окружающей среды, такие как температура, влажность.

Задачами исследования являются оценка функционирования данных радиомодулей с подключенными к ним датчиками, а также сравнительная оценка энергетических характеристик передачи цифровых данных по радиоканалу стандарта LoRa с другими протоколами обмена, такими как WiFi, Bluetooth и пр.

На основе полученных результатов возможно развитие проекта путем создания пользовательского приложения для визуального отображения параметров, получаемых от датчиков данных.

### **Литература**

1. **Обзор технологии LoRa** / [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://intelvision.ru/>
2. **Datasheet SX1276** / [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001Rbr/6EfVZUorppKFFvaF\\_Fkpgp5kzjiNyiAbqcpqh9qSjE](https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001Rbr/6EfVZUorppKFFvaF_Fkpgp5kzjiNyiAbqcpqh9qSjE)

*Е.А. Абрамова, студ.;  
рук. С.В. Литвинов, преп. (РТУ МИРЭА, Москва)*

## **ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОГО РАДИО И ИХ МЕСТО В РАЗРАБОТКАХ НАСТОЯЩЕГО ВРЕМЕНИ**

Радиоприемные устройства, построенные по технологии программно-определяемого радио — Software Defined Radio (SDR) широко применяются, в том числе для работы с сигналами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для повышения точности позиционирования.

Сигнал, излучаемый спутником, принимается антенной приемника и, пройдя через усилитель, поступает на АЦП и оцифровывается. Далее в ПЛИС происходит деление сигнала по фазе и частоте, сигнал сжимается и преобразуется в массив данных. После массив данных поступает на сигнальный процессор, управление которым происходит посредством специального программного обеспечения, установленного на компьютер.

Для приема и обработки сигналов ГНСС целесообразно применять программное обеспечение GNSS-SDRLIB. Программа обеспечивает получение сигналов навигационных систем, генерацию псевдодалности, декодирование навигационных сообщений и анализ спектра для обработки сигналов, что в итоге позволяет определить местоположение.

Предлагается алгоритм обработки сигналов ГНСС, полученных с применением SDR-приёмника HackRF One. Результаты обработки позволяют определить местоположение приемника с точностью до 3–5 метров. Также полученные результаты предоставляют возможность синхронизации работы разнесенных устройств за счет привязки к системе единого времени (СЕВ).

Большинство приемников ГНСС имеют закрытую структуру, что не позволяет в полной мере провести исследование факторов, влияющих на точность позиционирования, связанных с алгоритмами обработки сигналов. Такую возможность предоставляют SDR-приёмники, работа которых с сигналами ГНСС показывается в настоящей работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

### **Литература**

1. **Suzuki T., & Kubo N.** GNSS-SDRLIB: An open-source and real-time GNSS software defined radio library vol. 2. pp. 1364–1375.
2. GNSS-SDR An open-source Global Navigation Satellite Systems software-defined receiver // [Электронный ресурс] — URL: <https://gnss-sdr.org/> (дата обращения 25.11.22).

*Р.В. Горбунов, студ.; В.Ю. Салеев, студ.;  
рук. С.В. Литвинов, преп. (РТУ МИРЭА, Москва)*

## СИСТЕМА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ БПЛА

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) нашли свое применение в самых различных областях. Телеметрическая информация с борта БПЛА представляет как практический, так и исследовательский интерес.

Предлагается установка на борту БПЛА подсистемы системы сбора и обработки телеметрической информации, которая будет передаваться на командный пункт посредством радиоканала. В свою очередь на командном пункте устанавливается система, например на базе STM32, оснащенная приемником радиосигналов, которая транслирует принятые данные на вычислительный комплекс для визуализации. На рисунке 1 показано окно программы, демонстрирующее графики изменения параметров телеметрии. В специальном программном обеспечении (СПО) кроме отображения параметров телеметрии в режиме реального времени предусмотрена запись данных и анализ поступающей информации на предмет аномалий.

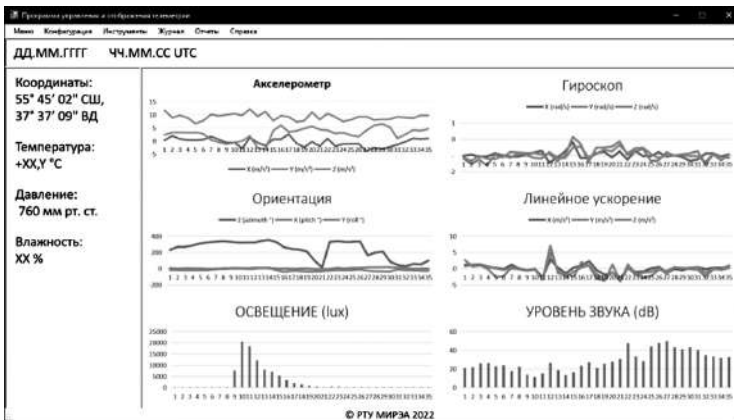


Рис. 1. Окно программы отображения телеметрии

Аппаратура на борту определяет следующие телеметрические параметры: положение в пространстве (координаты), ориентация и угловые скорости, проекция кажущегося ускорения, температура за бортом, давление, влажность, уровень шума и света, концентрация отдельных компонентов газовой смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

### Литература

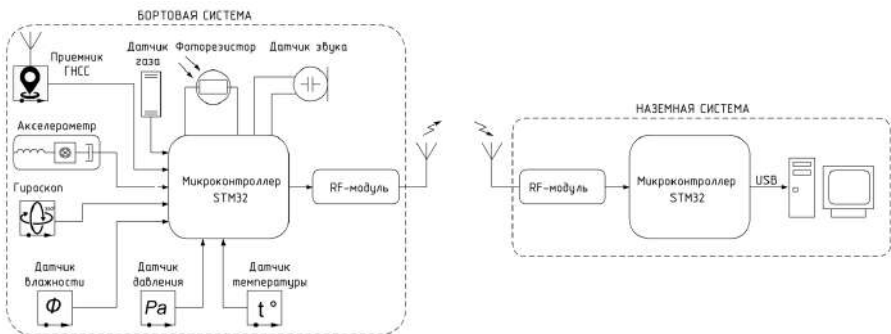
1. Литвинская О.С., Чернышев Н.И. Основы теории передачи информации // Учебное пособие 2020 г. С. 56–70.

*В.Ю. Салеев, студ.; Р.В. Горбунов, студ.;  
рук. С.В. Литвинов, преп. (РТУ МИРЭА, Москва)*

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) применяются в самых различных сферах общественной жизни. Анализ телеметрии с борта БПЛА представляет как практический, так и исследовательский интерес.

Предлагаемая подсистема регистрации, обработки и отображения телеметрической информации отличается низкой ценой, а также простотой изготовления и эксплуатации. Для исследовательских летательных аппаратов разрабатываемая подсистема может быть полезна, например, для верификации данных. В любительских БПЛА такая подсистема будет, зачастую, единственным источником телеметрической информации. Схема работы системы с отображением измеряемых параметров приведена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Организация работы предлагаемой системы

Управление бортовой и наземной аппаратурой осуществляется микроконтроллером STM32, размер которого составляет 10 x 10 мм, что позволяет использовать их для разработки действительно небольших и качественных продуктов коммерческого класса. При низком энергопотреблении данные МК способны дать хорошие показатели производительности при малой стоимости. Для предварительной оценки авторами разрабатывается проект с использованием отладочного комплекта STM32F100xx — discovery, являющимся полноценным инструментарием, состоящим из отладочной платы, программатора и отладчика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (ФСИ) в рамках Договора 94С2/МОЛ/73887 от 25.03.2022 г.

### Литература

1. **Басс А.В.** Особенности работы с микроконтроллером STM32 // Известия ТГУ. Технические науки. — 2019. — № 3. — С. 35–41. — EDN IJGZQL.

**Секция 4**  
**АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА**  
**И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**  
**Antennas and propagation**

---

*Председатель секции: к.т.н. Михайлов Михаил Сергеевич*

*Секретарь секции: Дубовицкий Максим Алексеевич*

*И.А. Громов, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ОБТЕКАТЕЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ**

На борту летательного аппарата (ЛА) располагается множество радиотехнических систем. Наиболее сложной из них является бортовая радиолокационная станция (БРЛС), расположенная в носовой части ЛА. В процессе полета БРЛС должна быть защищена от воздействий окружающей среды. Функцию защиты выполняет радиопрозрачный обтекатель (РПО).

Помимо механической прочности и термостойкости, обтекатель должен обладать высокой радиопрозрачностью. Стенки РПО оказывают влияние на радиотехнические характеристики БРЛС, такие как: ослабление энергии, частичное или полное разрушение диаграммы направленности, появление угловых ошибок и т.д.

Для минимизации влияния РПО на характеристики антенной системы используют материалы с хорошей радиопрозрачностью, которая характеризуется коэффициентом прохождения, то есть чем он больше, тем больше энергии проходит через стенку без потерь. В свою очередь, на значения коэффициента прохождения влияет физическая толщина материала. Чтобы уменьшить затухание волны толщину стенки выбирают оптимальной.

Для первичной оценки влияния радиопрозрачного обтекателя на радиотехнические характеристики антенной системы проводится электродинамическое моделирование работы системы «антенна — радиопрозрачный обтекатель». В качестве материала, из которого выполнен РПО, выбран новый композиционный материал ХАФСкв-1, обладающий высокой радиопрозрачностью в широком диапазоне частот. В качестве программы электродинамического моделирования выбрана Microwave CST.

Цель работы заключается в оценке влияния радиопрозрачного обтекателя с разной толщиной стенки на радиотехнические характеристики антенной системы.

### **Литература**

1. **Каплун В.А.** Обтекатели антенн СВЧ (Радиотехнический расчет и проектирование). — М.: Советское радио, 1974.
2. **Пригода Б.А.** Обтекатели антенн летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1970.
3. **Шпунтова А.И.** Обтекатели антенн. — М: «Сов. радио», 1950.

*К.С. Харлампьев, студ.;  
рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОГО МИКРОПОЛОСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ**

Микрополосковый излучатель — тип узкополосной и слабонаправленной антенны УВЧ и СВЧ диапазонов. Простейшая конструкция состоит из диэлектрической подложки, металлического квадрата со сторонами, равными половине длины волны и земли.

Для увеличения рабочей полосы частот микрополосковых антенн применяют различные методы: скосы граней, вырезы, много резонансный метод и т.д.

В данной работе для увеличения рабочей полосы антенны применено скругление граней прямоугольного микрополоскового излучателя. Параметры излучателя рассчитаны исходя из выражений для оптимального согласования. Радиусы кривизны рассчитаны эвристическими методами.

Для анализа разработанной модели в программе электродинамического моделирования рассчитаны следующие характеристики: частотные зависимости  $S_{11}$  и КСВН, картины распределения ближнего поля на различных частотах, картины дальнего поля, поляризационные характеристики.

Цель работы заключается в анализе характеристик полученной модели и формировании выводов о ее работоспособности.

### **Литература**

1. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988.
2. **Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А., Рябов А.В., Головченко Е.В.** Антенны: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016.
3. **Панченко Б.А., Нефёдов Е.И.** Микрополосковые антенны. — М.: Радио и связь. 1986.
4. **Алексейчик Л.В., Курушин А.А.** Комплексное моделирование в программе CST SUITE. — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021.

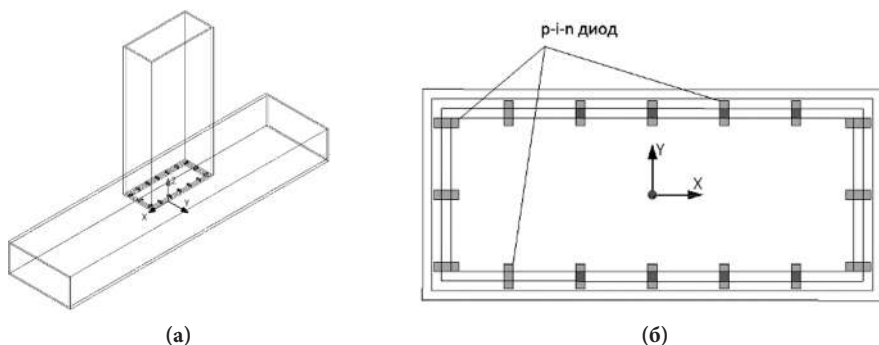


*Х.Н. Нгуен, асп.; рук. А.А. Сочава, к.т.н., доц.  
(СПУ Петра Великого, Санкт-Петербург)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

В последнее время все большее распространение в качестве антенн радиолокаторов различных диапазонов и применений получают фазированные антенные решетки (ФАР). ФАР с последовательным питанием — это один из вариантов построения ФАР. Любая ФАР включает распределительное устройство, которое обеспечивает питание излучателей с нужной фазой и амплитудой [1]. В нашей статье, исследуется и моделируется электрический управляющий волноводно-щелевой фазовращатель с фазовой регулировкой путем отключения диодов, размещенных в определенном положении, чтобы сделать ее более удобной для практического использования.

Конструкция волноводно-щелевого фазовращателя приведена на рис. 1. Два волновода связаны щелью в диафрагме в форме буквы О.



**Рис. 1.** Изображение волноводно-щелевого фазовращателя:  
(а) — общий вид, (б) — сечение в плоскости контакта волноводов

В работе использована среда HFSS в пакете ANSYS для моделирования характеристик фазовращателя. Сущность предлагаемого технического решения состоит в том, что волноводно-щелевой фазовращатель содержит два волновода, переход между которыми образуется в виде виртуальной щели за счет определенных состояний p-i-n диодов. Эта щель обеспечивает необходимый сдвиг фазы.

### Литература

1. Дикий Д.В., Акимов В.П., Сочава А.А., Черепанов А.С. Управление фазовым сдвигом с помощью волноводно-щелевого фазовращателя // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физ. мат науки. №11(2) 2018. С. 130–138.

К.С. Сычев, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

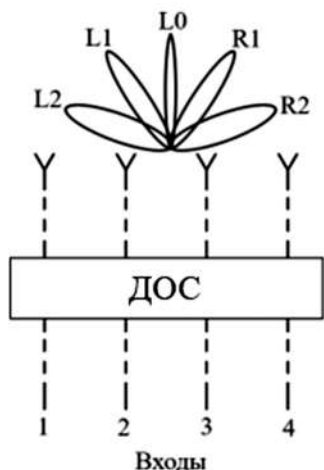


Рис. 1. Соответствие входов антенны и формируемых ДН

В качестве антенного элемента был выбран щелевой излучатель Вивальди, который способен работать в широкой полосе частот. Широкополосность излучателя позволяет использовать его в системах, решающих различные задачи: радиолокация, радиоэлектронная борьба, радиотехническая разведка и другие [3].

В результате математического моделирования в среде MATLAB/GNU Octave [4] построены диаграммы направленности (ДН) МАР. Также получены требуемые характеристики излучателей Вивальди и элементов ДОС. Модели направленных ответвителей, фазовращателей и антенных элементов были объединены в трехмерную структуру, для которой получены характеристики направленности в среде электродинамического моделирования [5].

### Литература

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. — М.: Высшая школа, 1988.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М.: Энергия, 1975.
3. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. — М.: Радиотехника, 2012.
4. Корогодин И.В. Диаграмма направленности антенной решетки. Лабораторная работа № 2: методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2014.
5. Курушин А.А. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

*В.В. Трубецкой, А.М. Игнатов, С.А. Серов студ.;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНЫХ АНТЕНН ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ**

Известные способы создания ДН для традиционных типов антенн не обеспечивают излучения и приема сверхширокополосных (СШП) сигналов. Задача создания антенных систем для СШП-сигналов является новой. Использование микрополосковых печатных антенн является наиболее приоритетной технологией, способной обеспечить высокую повторяемость размеров, низкую стоимость, малые металлоемкость и массу. Для микрополосковых СШП антенн (Рис. 1), использующих сигналы простой и сложной формы, пока еще не имеется апробированных способов формирования диаграммы направленности заданной формы, так как к расчету СШП-антенн неприемлемы классические методы электродинамики, разработанные для гармонических сигналов.



Рис. 1. СШП антенна

При выполнении исследований применен системный подход. Электродинамическое моделирование с использованием пакета математического моделирования, основанное на методе конечных разностей во временной области (FDTD).

Разработана методика синтеза конструкции СШП линейной печатной антенны с диаграммой направленности заданной формы, включающая оптимизацию параметров входящего в состав антенны одиночного излучателя, учитывающая значения параметров аналитического описания и результаты расчета амплитудных и фазовых весовых коэффициентов диаграммы направленности заданной формы антенны, результаты полученного путем электродинамического моделирования распределения поля на поверхности излучателей антенной решетки с использованием пакета математического моделирования, использование, которого описано в книге [1]. Результаты расчета модели и параметров микрополосковой системы питания решетки, электродинамического моделирования параметров и характеристик линейной печатной антенны в целом, количественную оценку сходимости полученного амплитудного и фазового распределения с расчетными.

В ходе работы разработана модель прототипа СШП печатной антенны.

### **Литература**

1. **Курушин А.А., Пластик А.Н.** Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: Издательство МЭИ, 2011, 155 с.

А.А. Новиков, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Исследование распространения радиоволн на сегодняшний день является актуальной темой в связи с задачей расположения вышек мобильной связи и обеспечения максимального покрытия [1]. Одним из основных способов решения этой задачи является применение метода параболического уравнения, который является приближением точных уравнений Максвелла и уравнения Гельмгольца [2, 3]. Однако не всегда при анализе поведения электромагнитного поля доступна информация об окружающих объектах и их параметрах. Существует большое количество программ, использующих данные географической карты мира.

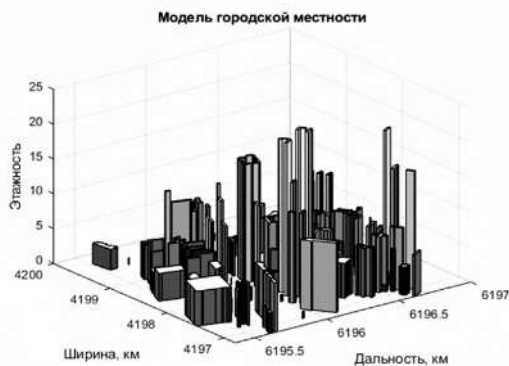


Рис. 1. Трехмерная модель участка городской местности

В докладе приведены результаты моделирования процессов распространения радиоволн методом двумерного параболического уравнения с применением быстрого преобразования Фурье в среде MATLAB. Объектом расчета является трехмерная модель участка городской местности, построенная на основе веб-картографического сервиса «OpenStreet Map».

### Литература

1. V.A. Permyakov, M.S. Mikvailov and E.S. Malevich. Analysis of Propagation of Electromagnetic Waves in Difficult Conditions by the Parabolic Equation Method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2167–2175.
2. Михайлов, М.С. Расчет энергетических характеристик фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель) / М.С. Михайлов, В.А. Пермяков, Д.М. Сазонов // Журнал радиоэлектроники. — 2014. — № 12. — С. 5.
3. Михайлов, М.С. Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с препятствиями / М.С. Михайлов, В.А. Пермяков, Е.С. Малевич // Известия вузов. Физика. — 2016. — Т. 59. — № 12-3. — С. 145–148.

*С.Е. Белопольский, студ.;*  
*рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ КРАНКА-НИКОЛСОНА**

Прогнозирование уровней напряженности поля радиоволны в зоне действия является важным этапом в разработке радиолинии. Методы численного моделирования позволяют решать задачи распространения радиоволн в неоднородных средах. В 1940-х годах М.А. Леонтовичем и В.А. Фоком был предложен метод параболического уравнения в применении к излучению элементарного источника над землей [1].

Основными алгоритмами для решения параболического уравнения являются метод быстрого преобразования Фурье (SSPE) и конечно-разностные методы [2]. Метод Кранка-Николсона относится к конечно-разностным методам и позволяет с большой точностью получать картины полей напряженности.

В среде MATLAB были проведены численные расчеты распространения радиоволн с помощью параболического уравнения методом быстрого преобразования Фурье и методом Кранка-Николсона. Данные методы сравниваются друг с другом при различных моделях радиолиний. Учитывается влияние рефракции радиоволн в тропосфере и наличие тропосферного волновода, приводящего к увеличению дальности действия радиолинии и вероятному загоризонтному распространению радиоволн [3, 4].

### **Литература**

1. **Леонтович М.А., Фок В.А.** Решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности земли по методу параболического уравнения. / ЖЭТФ, 1946, т. 16, вып. 7, с. 557–573.
2. **Levy M.** Parabolic equation methods for electromagnetic waves propagations. London, UK, IEE, 2000. — p. 336.
3. **Permyakov V.A., Mikhailov M.S., Malevich E.S.** Analysis of propagation of electromagnetic waves in difficult conditions by the parabolic equation method // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. — 2019. — Vol. 67. — No 4. — P. 2167–2175.— DOI 10.1109/TAP.2019.2905674.
4. **Permyakov V.A., Mikhailov M.S., Borodko Y.A.** Propagation of radio waves in the presence of a combined tropospheric duct // 13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications, TELSIS 2017 — Proceeding 13. 2018. C. 109–110.

*М.М. Мурадова, студ.;*  
*рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ПАТЧ-АНТЕННЫ**

Микрополосковая антенна (печатная антенна, патч-антенна, англ. Patch-antenna) представляет собой узкополосную антенну с широким лучом. Физически такая антенна имеет двумерную геометрию. Основным элементом патч-антенны является плоская металлическая пластина. В простейшей микрополосковой антенне используются пластины полуволновой длины, так что металлическая поверхность этих пластин действует как резонатор подобно полуволновому диполю. Микрополосковая антенна обычно изготавливается путем помещения металлической пластины заданной формы на изолирующем слое диэлектрика, подобно тому, как делают печатные платы, с той разницей, что на противоположной от пластины стороне диэлектрика устанавливается сплошная металлическая подложка, которая образует заземляющую поверхность. Такая конструкция проста в разработке и недорога в изготовлении. В некоторых патч-антеннах не используется сплошной слой диэлектрика, взамен чего металлические пластины устанавливаются над металлической подложкой на диэлектрических прокладках. Получающаяся структура является менее прочной, но имеет более широкую рабочую полосу частот. Микрополосковые антенны разрабатываются для частот от УВЧ-диапазона до 100 ГГц.

В патч-антеннах в основном используются пластины квадратной, прямоугольной, круговой или эллиптической формы. Однако, возможно использование и любых других сплошных (непрерывных) форм. Патч-антенны характеризуются механической прочностью и могут иметь форму, соответствующую изогнутой поверхности транспортного средства. Такие антенны устанавливаются на внешних поверхностях самолетов или космических аппаратов, а также встраиваются в мобильные устройства радиосвязи. Они обладают высокой поляризационной избирательностью и могут использоваться для нескольких точек питания.

В ходе выполнения работы был выполнен совместный анализ антенны и малошумящего усилителя. Был рассчитан коэффициент усиления, получены зависимости КСВн и S11 от частоты.

### **Литература**

1. Гибридное моделирование СВЧ структур в HFSS ANSYS. Сб. материалов под ред. А.А. Курушина — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. — 348 стр., с илл.
2. **А.А. Курушин.** Проектирование планарной патч-антенны в HFSS 3D Layout. Файл. 20 стр.

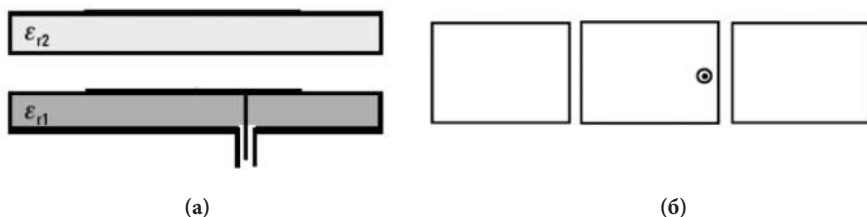
*Е.Д. Малёв, асп.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТОПОЛОГИЙ РАТЧН-АНТЕНН S-ДИАПАЗОНА

В настоящее время повсеместно используются микрополосковые антенны (МПА). Данный тип антенн отлично зарекомендовал себя с точки зрения малой стоимости и простоты изготовления. Однако данный тип антенн обладает и существенным недостатком — малой широкополосностью. Для устранения этого недостатка существует несколько методов [2].

Первый метод заключается в использовании нескольких подложек на одной, из которых размещается активный излучатель, а на другой размещается пассивный (рис. 1 (а)). Основной сложностью проектировки и изготовления такой антенны является клеевой слой, вносящий смешанную диэлектрическую проницаемость, что сказывается на характеристиках антенны.

Второй метод заключается в размещении вокруг активного излучателя пассивных (2). Основным недостатком этого метода является искажение ДН, так как распределение поля  $E$  происходит неравномерно от активного излучателя к пассивным.



**Рис. 1.** Методы увеличения широкополосности МПА: (а) многослойный метод; (б) многорезонансный метод

В данной работе, спроектированы несколько топологий антенн с использованием данных методов и проведено их сравнение.

### Литература

1. **Б.А. Панченко, Е.И. Нефёдов.** Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. — 144 с.: ил.
2. **К.Л. Wong.** Compact and broadband microstrip antennas // NY. John Wiley & Sons. 2002, pp.
3. **Д.М. Сазонов.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.: ил.

*А.М. Юмашев, асп.;*  
*рук. М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В ТРОПОСФЕРНЫХ ВОЛНОВОДАХ**

В данном докладе рассматривается исследование распространения широкополосных сигналов в тропосферных волноводах, характерных для территории России. Данное исследование в настоящий момент представляется интерес в вопросах увеличения дальности радиосвязи. Так же результаты могут быть использованы в вопросах увеличения дальности радиолокации над морской поверхностью.

В ходе исследования была составлена база данных параметров приподнятых волноводов (ПДВ) [1], полученных с метеозондов. Осуществлена оценка стабильности образования ПДВ. Была построена математическая модель ПДВ. Изучено влияние параметров рассмотренного ПДВ на спектр широкополосного сигнала.

Математическая модель спектра широкополосного сигнала представляет собой ограниченную на определённом интервале частот (в полосе сигнала) дискретизированную функцию. В работе устанавливается критерий для выбора интервала дискретизации.

Широкая полоса частот сигнала приводит к эффекту, когда составляющие на различных частотах распространяются в волноводе неодинаково и данная зависимость имеет нелинейный характер, что обусловлено химическим составом и электрическими свойствами ПДВ.

В ходе работы проведено математическое моделирование прохождения широкополосных сигналов через тропосферные волноводы в различных климатических условиях методом параболического уравнения [2].

### **Литература**

1. **V.A. Permyakov, M.S. Mikhailov, Y.A. Borodko** Propagation of radio waves in the presence of a combined tropospheric duct // *TELSIKS 2017* — P. 109–110. — DOI 10.1109/TELSIKS.2017.8246240
2. **Михайлов М.С., Пермяков В.А., Малевич Е.С.** «Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с препятствиями» // *Известия вузов. Физика.* — 2016. — Т. 59. — № 12-3. — С. 145–148.



*П.М. Никитина, А.А. Миронов, Н.М. Петунин студ.;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН С ВЫСОКИМ НАПРАВЛЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ**

В сегодняшнем мире беспроводных технологий системы передачи информации все больше нуждаются в компактных приемопередающих антеннах. Малые габаритные размеры имеют микрополосковые антенны.

Актуальность задачи состоит в необходимости создания антенны с узкой диаграммой направленности, для целей радионавигации. По причине зависимости формы антенны и требований к входному сигналу от рабочей частоты и условий использования, поиск готовых решений не увенчался успехом.

На данный момент наиболее перспективным является фрактальный подход к проектированию. Он позволяет обеспечивать работу антенны в нескольких частотных диапазонах с заданной диаграммой направленности.

Технический результат — уменьшение массогабаритных характеристик и ширины диаграммы направленности, за счет чего можно снизить потребляемую антенной мощность, создать нужную площадь излучения, при которой не будет происходить отражения от других объектов. Уменьшение массогабаритных характеристик и ширины диаграммы направленности являются взаимосвязанными, однако сужение диаграммы направленности дает качественное улучшение разрешающей способности для приемной антенны.

При выполнении исследований используется системный подход, методы классической электродинамики, элементы теории оптимизации, антенных измерений характеристик излучателей, численные методы решения граничных задач, натурные испытания и электродинамическое моделирование с использованием математического моделирования, основанное на методе конечных разностей во временной области.

Научно-техническая ценность данной разработки заключается в подтверждении работоспособности синтезированных антенн; практическая ценность заключается в применении узкоспециализированных антенн в целях оптимизации процессов радионавигации.

### **Литература**

1. **Бабичев Д.А., Тупик В.А.** Моделирование формы фрактальной антенны на основе электромагнитного расчета характеристик прямоугольной микрополосковой антенны // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 10. С. 3–7.

*А.Б. Борзов, д.т.н., проф., К.П. Лихоеденко, д.т.н., проф.,  
В.Б. Сучков, д.т.н., проф., М.В. Артюшкин, студент;  
рук. Г.М. Серегин, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ**

Задача дистанционного определения структуры и толщины снежно-ледовых покровов позволит снизить лавиноопасность, поэтому необходима разработка средств мониторинга толщины снежно-ледовых покровов. Комплекс, представляющий собой бортовой локатор на беспилотном летательном аппарате [1], должен автономно, мобильно, оперативно с наименьшими издержками обеспечить получение наиболее точных данных при наибольшей зоне поиска. Автономность комплекса повышает требования к энергоэффективности комплекса, что накладывает жесткие массогабаритные ограничения. Использование технологии обработки радиолокационных изображений делает актуальной задачу миниатюризации антенн для подобных комплексов.

Целью данной работы стала разработка компактной широкополосной антенны с широким лепестком для автономной мобильной сверхкороткоимпульсной радиолокационной системы мониторинга параметров снежно-ледовых покровов.

Синтезирована СШП антенна для излучения СКИ сигнала, представляющая собой печатную плату толщиной 3 мм, габаритными размерами 104 мм, массой 102 грамма, с полосой частот от 1 до 4,5 ГГц, средним коэффициентом усиления 1,8 дБ, ширина лепестка 80–100 градусов.

Компактная широкополосная печатная микрополосковая спиральная антенна для комплекса мониторинга параметров снежно-ледовых покровов на базе мобильной платформы квадрокоптера DJI Matrice 100d благодаря низкой массе, малым габаритам, низкой стоимости, широкому частотному диапазону, широкому лепестку позволят успешно применять ее для энергоэффективного определения толщины снежно-ледовых покровов.

### **Литература**

1. **Копейкин Р.Е.** Разработка и исследование алгоритмов обработки информации мобильных сверхкороткоимпульсных систем мониторинга снежно-ледовых покровов: дис.... канд. техн. наук: 05.13.01. — МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, 2021. — 172 с.

*А.А. Миронов, П.М. Никитина, Н.М. Петунин, студ.;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН С ВЫСОКИМ НАПРАВЛЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ В ЦЕЛЯХ РАДИОНАВИГАЦИИ**

Замена слабонаправленных или ненаправленных антенн, позволяет не только получать энергетический выигрыш, но и ослаблять взаимные влияния одновременно работающих различных систем.

Рассматриваемые в этой работе микрополосковые антенны с высоким направленным коэффициентом усиления в ряде случаев могут заменить распространенные виды антенн для радиотехнических систем.

В ходе работы рассматриваются основные характеристики антенн, такие как диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент усиления.

Результат работы — определение ряда случаев, при которых использование микрополосковых антенн является предпочтительным в сравнении с антеннами, используемыми на данный момент. Уменьшение массогабаритных характеристик при малом изменении параметров, играющих важную роль в области применения, в случае использования микрополосковых антенн, является главным фактором сравнения.

Научно-техническая ценность данной работы заключается в анализе характеристик применяемых антенн и разрабатываемых микрополосковых антенн; практическая ценность заключается в применении узкоспециализированных микрополосковых антенн, как более эффективных по ряду характеристик, в целях радионавигации...

### **Литература**

1. **В.И. Ефанов, А.А. Тихомиров.** Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: Методическое пособие: ТУСУР, 2012.

**Секция 5**  
**РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ**  
**Radarlocation and TV technologies**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Комаров Алексей Александрович*

*Секретарь секции: Юмашев Александр Михайлович*

*К.С. Чмиль, студ.; рук. Р.Г. Хафизов, д.т.н., проф.  
(ПГТУ, Йошкар-Ола)*

## **НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ИНВЕРСНЫЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ**

В современной радиолокации существует несколько основных направлений развития, используемых для повышения разрешающей способности радиолокационных станций. Одним из наиболее актуальных направлений — переход от согласованной фильтрации, используемой в большинстве современных систем фильтрации радиолокационных изображений к инверсной фильтрации, ввиду относительной простоты и эффективности относительно других методов повышения разрешающей способности радиолокаторов.

Однако применение стационарных инверсных фильтров ограничено классом сигналов, не имеющих нулей в амплитудном спектре ввиду того, что рассматриваемый способ фильтрации основан на вычислении частотной характеристики как обратной частотной характеристике согласованного фильтра, таким образом при наличии в частотной характеристике согласованного фильтра нулей возникает неопределенности типа «деление на 0».

Существует множество методик позволяющих решить проблему неопределенности типа «деление на 0» для последующего использования инверсного фильтра, однако их использование сопровождается возникновением побочных боковых лепестков в выходной характеристике, что существенно ухудшает качество радиолокационного изображения.

В представленной работе для решения проблемы неопределенности типа «деление на 0» рассмотрен метод, основанный на использование методов аналитической геометрии в котором путем коррекции базиса одного из этапов импульсной и соответственно частотной характеристик, происходит переход от стационарного устройства к нестационарному.

Показано, что при использовании нестационарной инверсной фильтрации побочные боковые лепестки в выходном сигнале отсутствуют.

### **Литература**

1. **Хафизов Р.Г.** Оценка параметров боковых лепестков сжатого сигнала на выходе инверсного фильтра в условиях неопределенности // Журнал радиоэлектроники [Электронный журнал]. 2021. № 8.
2. **Хафизов Р.Г.** Обеспечение разрешенного образа при инверсной фильтрации сигналов в условиях неопределенности // Цифровая обработка сигналов, 2020, № 1. С. 50–54.

*М.М. Зайнутдинов, студ.; А.В. Павловский, студ.;*  
*Р.Р. Вахитов, студ.; рук. О.В. Глухов, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ**

В настоящее время задача распознавания целей в воздушном пространстве является приоритетной в радиолокации. Задачу распознавания в общем случае можно разделить на задачу кластеризации и классификации [1]. При этом в большинстве реальных систем сегодня кластеризация и классификация выполняется полуэмпирическими и ручными методами, несмотря на то что радиолокационная информация характеризуется большим объемом данных, ввиду чего текущие алгоритмы показывают низкую эффективность.

Решением описанной проблемы может быть применение методов машинного обучения, и построения на их основе высокоэффективных алгоритмов. В данной работе был рассмотрен метод ближайших соседей и на его основе разработать алгоритм классификации радиолокационных сигналов и оценить его эффективность по метрике «доля правильных ответов».

Для разработки алгоритма необходимо было описать модель наблюдений радиолокационных сигналов, определяемую следующей формулой:

$$Y = X + E, \quad (1)$$

где  $X$  — матрица состояния принятых сигналов;  $E$  — матрица шумов, описываемая по нормальному закону распределения.

Далее разработка алгоритма сводится к выбору метрики окрестности нахождения ближайшего соседа, в работе использовалась Евклидова норма, и нахождение оптимального по критерию правильной классификации числа соседей по описанной модели наблюдений.

В результате в зависимости от выбора количества соседних точек, по которым алгоритм решает к какому кластеру отнести принятый сигнал, меняется доля правильных ответов алгоритма. Для 1 соседней точки метрика правильной классификации кластера составила 92,93%, для 2 точек — 91,51%, для 3 точек — 93,7%, для 5 точек — 90,53%. Оптимальным количеством соседей является 4 точки с точностью 94,1%.

### **Литература**

1. **Татузов А.Л.** Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28 — М.: Радиотехника, 2009. — 432с.: ил. (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение»).

*А.В. Павловский, студ.; М.М. Зайнутдинов, студ.;  
Р.Р. Вахитов, студ.; рук. О.В. Глухов, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ МЕТРИКИ РАССТОЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА ПО МЕТОДУ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Распознавание целей в воздушном пространстве является одной из важнейших и приоритетных задач в радиолокации. Распознавание целей воздушного пространства можно свести к решению задачи кластеризации и последующей классификации, то есть из множества принятых радиоимпульсов выбрать несколько центров группирования, которые соответствует обнаруживаемым целям [1]. Перспективным и эффективным методом классификации является метод ближайших соседей.

Целью работы является анализ влияния используемой метрики расстояния в алгоритме, основанном на методе ближайших соседей, на этапе распознавания сигналов в РЛС. Исходя из теоретических предположений, в зависимости от выбранной метрики расстояния (Евклидова норма, норма Чебышева, норма на единице), классификация приводит к различным результатам.

Для проверки предложенной гипотезы был разработан алгоритм оценки доли правильных ответов решения задачи классификации в зависимости от используемой метрики расстояния, основанный на методе ближайших соседей. Для этого необходимо было описать модель принимаемых сигналов с учетом шумов радиотехнического тракта РЛС. К вектору состояний принятых сигналов добавлялся шум с нормальным законом распределения с нулевым математическим ожиданием и конечным среднеквадратическим отклонением.

Для Евклидовой нормы доля правильных ответов равна 93.4%. Для нормы Чебышева — 92.6%. Для расстояния городских кварталов — 93.7%.

**Таблица 1.** Доля правильных ответов при различных метриках классификации

<b>Норма</b>	<b>Евклидова</b>	<b>Чебышева</b>	<b>На единице</b>
Доля правильных ответов, %	93.4	92.6	93.7

### **Литература**

1. **Татузов А.Л.** Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. — М.: Радиотехника, 2009. — 432 с.: ил. (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение»).

*А.С. Линьков, студ.; рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ, ОТРАЖЁННЫХ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ**

Окружающий человека материальный мир наполнен объектами, требующими постоянного наблюдения за ними: исследования поведения и их свойств с целью обеспечения безопасности. Методы радиолокации эффективно решают задачу наблюдения. Результатом наблюдения космического пространства являются: обнаружение новых звёзд, метеоритов, планет и др. космических объектов. Радионаблюдение тропосферы позволяет осуществлять слежение за воздушными объектами, а также за погодными условиями. Зондирование в толще земли позволяет искать полезные ископаемые, исследовать состав горных пород.

Путём анализа характеристик и параметров сигналов, отражённых от объектов, проводится их исследование, используя методы радиолокации. Широко применяемым способом анализа является имитационное моделирование, так как получение реальных сигналов является непростой задачей. Отражённые сигналы, как правило, имеют случайные параметры и сопровождаются шумами разной природы.

В докладе представлены результаты работы по исследованию характеристик сигналов, отражённых от пространственно-распределённых целей [1] методом имитационного моделирования в математическом пакете Matlab. В ходе исследования разработана обобщённая модель объекта локации, учитывающей его геометрические форму и размеры, его отражающие свойства, особенности среды распространения, а также наличие собственных шумов антенны, пассивных и активных помех. Отличительной особенностью разработанной программы является учёт максимального количества факторов, влияющих на отражённый сигнал, удобный интерфейс, позволяющий оперативно изменять параметры модели, а также большой набор анализируемых выходных функций и характеристик сигнала.

Результаты моделирования с высокой точностью отражают свойства реальных сигналов и могут быть использованы для построения устройств обработки с целью получения радиолокационной информации об объектах.

### **Литература**

1. **Ширман Я.Д., Манжос В.Н.** Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981.



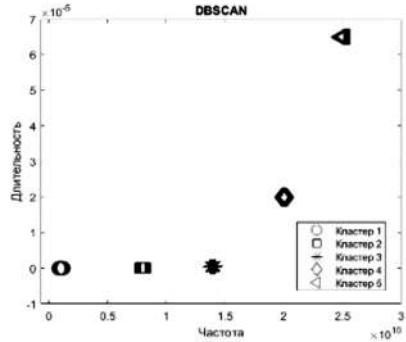
*Р.Р. Вахитов, студ.; М.М. Зайнутдинов, студ.;  
А.В. Павловский, студ.; рук. О.В. Глухов, ассистент (НИУ “МЭИ”)*

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПАССИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ

Распознавание целей в воздушном пространстве является одной из задач в радиолокации. Данную задачу можно свести к кластеризации и последующей классификации. В большинстве эксплуатирующихся РЛС кластеризация осуществляется с помощью полуэмпирических или ручных методов с низкой эффективностью в случае высокой нагрузки на оператора или систему в целом [1]. В связи с вышеизложенным, возникает необходимость исследования методов кластеризации.

Данный доклад посвящен созданию программно-математической модели (ПММ) принятых импульсов с воздушных целей и их последующей кластеризации с помощью различных методов машинного обучения.

Как итог была описана ПММ импульсов, принимаемых пассивной радиолокационной системой от 5 целей. Импульс характеризуется двумя признаками: длительностью и частотой. На базе полученной ПММ были исследованы три алгоритма: k-средних, DBSCAN и путь создания кластерного дерева (иерархическая кластеризация). DBSCAN имеет ряд преимуществ в сравнении с остальными методами. К примеру, DBSCAN не требует в качестве входных данных количество определяемых кластеров в отличие от k-средних, также с помощью DBSCAN можно определять шумовые точки, которые не относятся ни к одной из целей.



**Рис. 1.** Кластеризованные импульсы методом DBSCAN

### Литература

1. **Тагузов А.Л.** Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. — М.: Радиотехника, 2009. — 432 с.: ил. (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение»).

*С.С. Ерочкина, А.О. Жирнова, С.В. Оробченко,  
А.В. Павловский, студенты;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ ВЫБОРА РОДИТЕЛЕЙ В ГЕНЕТИЧЕСКОМ АЛГОРИТМЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ**

С развитием электроники все чаще используются локальные навигационные системы (ЛНС), обладающие наибольшей эффективностью в реализации позиционного метода навигации.

Эффективность данных систем компенсируется требованием развёртывания и поддержания инфраструктуры навигационных опорных точек (ОТ). Вне зависимости от базовой технологии и способа решения данной навигационной задачи точность в позиционной ЛНС зависит от числа ОТ и их расположения. Как правило нерациональная расстановка ОТ вызвана интуитивным методом выбора положения и количества ОТ, что ведет к избыточности и удорожанию структуры ЛНС. Для оптимизации стоимости данной инфраструктуры при заданном качестве координатных определений важно повысить точность метода решения данной задачи.

Итерационный генетический алгоритм является перспективным численным методом решения данной задачи оптимизации. Для повышения эффективности данного численного метода требуется модификация структуры и параметров под конкретную постановку задачи.

Одним из этапов генетического алгоритма является выбор родителей для дальнейшего скрещивания. Вид оператора играет важную роль в реализации генетического алгоритма. Существуют основные формы операторов, чистое использование или модернизация которых ведет к получения генетического алгоритма, оптимального для решения конкретной задачи.

### **Литература**

1. **Kulikov R., Petukhov N., Malyshev A., Tsaregorodtsev D.** Application of Genetic Algorithm for Determining the Locations of Reference Points of Local Navigation System and Minimizing their Number — 2021.

**Секция 6**  
**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Quantum electronics**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Поройков Антон Юрьевич*

*Секретарь секции: Шматко Екатерина Викторовна*

Д.В. Еремин, студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА МАКЕТА ПИРОМЕТРА СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

На всех этапах жизненного цикла двигателей летательных аппаратов важный характер носит анализ температур газового потока. Актуальным методом в данном направлении является оптическая пирометрия, обладающая двумя достоинствами: бесконтактностью и быстродействием.

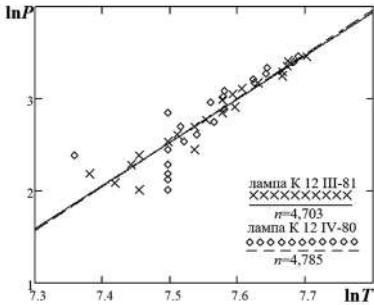


Рис. 1. Графики зависимости  $\ln P(\ln T)$

В настоящей статье приведены результаты апробации макета многоканального пирометра с применением интерференционных светофильтров в светоделительном блоке [1]. Экспериментальная отработка макета производилась на лампах накаливания К-12 с вольфрамовой нитью, так как они являются хорошо изученным излучателем. Результаты экспериментального исследования, полученные автором, представлены на рисунке 1. Значения температур, линейность зависимостей  $\ln P(\ln T)$ , а также значения показателя степени  $n$ , определённые по наклону прямой  $\ln P(\ln T)$ , свидетельствуют о хорошем соответствии полученных результатов теоретическим представлениям для исследуемого высокотемпературного источника. На конференции будет представлена схема пирометра и результаты отработки макета.

В дальнейшем планируется провести апробацию макета пирометра на пламени газовой горелки.

### Литература

1. Поройков А.Ю., Сахаров В.Б. Пирометр спектрального отношения для измерения высоких температур в газовых потоках // Приборы и техника эксперимента. № 6, 2016. С. 131–132.

*К.А. Барбышев (НИУ «МЭИ»), Д.О. Севрюков (НИТУ «МИСиС»), студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МИНИАТЮРИЗИРОВАННАЯ НАЗЕМНАЯ ПРИЕМНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ**

В современном мире актуальной задачей представляется развитие квантовых коммуникаций — технологий, направленных на устранение угрозы информационной безопасности, в том числе со стороны квантовых компьютеров. Действенным способом защиты таких коммуникаций является квантовая криптография, основным инструментом которой — это квантовое распределение ключей (КРК).

Квантовое распределение ключей представляет собой метод конфиденциальной передачи криптографических ключей между двумя абонентами, обычно именуемыми как Алиса и Боб. Главное преимущество КРК — безусловная защищенность информации — гарантировано нерушимыми принципами квантовой физики. На сегодняшний день существующие атмосферные и волоконные системы КРК имеют ограниченную дальность действия в пределах нескольких сотен км [1]. Это обусловлено затуханием информационного оптического сигнала в открытом земном пространстве или в оптоволоконном кабеле, соединяющем двух пользователей. Поэтому для расширения границ использования систем КРК была предложена концепция масштабируемой спутниковой сети с приемными станциями, базирующимися на двух телескопах с апертурами 1,2 м и 0,6 м соответственно [2].

В рамках данного доклада кратко изложены принципы построения космической линии связи для КРК с использованием наноспутника (CubeSat) в качестве доверенного передающего узла и миниатюризированной наземной станции приема, в основе которой телескоп с апертурой 0,3 м. Также приведено описание разработанной авторами оптической схемы приемного узла и результаты проведенных исследований оптических характеристик (таких как пропускание и коэффициент экстинкции поляризации — PER) телескопа и полезной нагрузки, являющейся по своей сути блоком декодера протокола BB84.

### **Литература**

1. **Wang S.** [et al.]. Twin-field quantum key distribution over 830-km fibre // *Nature Photonics*. — 2022. — Vol. 16, № 2. — P. 154–161.
2. **Kurochkin V.L.** [et al.]. Elements of satellite quantum network // *International Conference on Micro-and Nano-Electronics 2021*. — SPIE, 2022. — Vol. 12157. — P. 492–499.

*Тянь Янян, асп.; рук. А.Ю. Поройков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕГИСТРАЦИЯ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ТРАЕКТОРИЙ МИКРОЧАСТИЦ В ЛАБОРАТОРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ ЛУННОЙ ПЫЛИ**

Вредное воздействие лунной пыли на аппаратуру и человека являются одними из самых проблемных факторов при планировании автоматических и пилотируемых миссий на Луну. Для уменьшения и возможного устранения этого влияния проводятся исследования динамики лунной пыли в лабораторных условиях [1–3]. Основным подходом в этих исследованиях является создание условий, наблюдаемых на поверхности Луны, в вакуумных камерах и изучение поведения частиц пыли под воздействием разнообразных факторов с помощью различных методов.

Оптические методы позволяют получить максимум информации о перемещении частиц бесконтактным способом. Целью данной работы является регистрация стереоизображений траекторий микрочастиц симулянта лунного грунта в лабораторных исследованиях с помощью двух синхронизированных видеокамер.

Экспериментальные исследования проводились с помощью вакуумной установки с окном для оптического доступа. Внутри камеры между двумя электродами (верхний из них выполнен в виде сетки) расположена непроводящая подложка с насыпанным на нее симулянтом грунта. Во время эксперимента на электроды подается высокое напряжение (более 1 кВ). В результате такого воздействия частицы симулянта начинают взлетать над сеткой и двигаться по параболическим траекториям.

Пространство над решеткой освещается лазером. Движущиеся частицы рассеивают свет, который регистрируется с помощью видеокамер. Получаемые изображения содержат участки траекторий движения частиц в виде парабол. Стереоизображения могут быть использованы для определения параметров движения в трехмерном пространстве. В докладе будут представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных автором, с помощью разработанной системы регистрации.

### **Литература**

1. **Zakharov A.V. et al.** Recovery of dust particles trajectories in modeling physical processes in the near-surface exosphere of the moon // Measurement. 2021. Vol. 171. P. 108831.
2. **Wang X. et al.** Investigation of dust transport on the lunar surface in a laboratory plasma with an electron beam // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2010. Vol. 115. P A11.
3. **Orger N.C. et al.** Experimental investigation on particle size and launch angle distribution of lofted dust particles by electrostatic forces // Advances in Space Research. 2021. Vol. 68. P. 1568–1581.

А.А. Полев, студ.; рук. М.В. Сапронов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ НАНОЧАСТИЦ

Нанотехнологии за последние десятилетия сделали резкий скачок в своем развитии. Повышенный интерес к ним связан с тем, что наноразмерные материалы, в сравнении с крупнозернистыми, проявляют особые физико-химические, механические и биологические свойства.

При исследовании наночастиц важно следить за размерами структур, поэтому вводят понятие дисперсности. Дисперсность — это физическая величина, которая характеризует размер частиц в дисперсных системах. Принято считать, что размер ультрадисперсных систем частиц — наночастиц, составляет от 1 до 100 нм.

Например, анализ размеров частиц необходим при исследовании биологических дисперсных сред, так как дисперсность частиц во много определяет свойства таких сред [1].

В настоящей работе, автором было проведено исследование статического рассеяния лазерного излучения на частицах нанопорошков оксида алюминия, оксида железа и оксида титана. Для этого была разработана экспериментальная установка (рисунок 1), позволяющая регистрировать угловое распределение интенсивности рассеянного света [2].

Путем цифровой обработки экспериментальных изображений были определены индикатрисы рассеяния лазерного излучения на ансамбле частиц исследуемых нанопорошков. Проведен анализ зависимости индикатрис рассеяния от длины волны лазерного излучения и параметров рассеивающих наночастиц, а именно их относительного показателя преломления и размера.

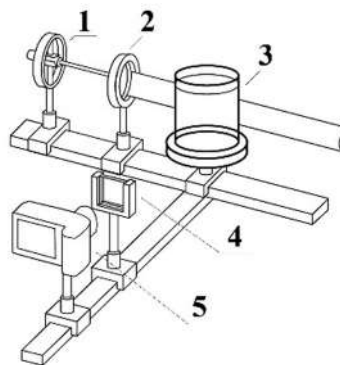


Рис. 1. Упрощенная схема экспериментальной установки  
1 — лазер, 2 — линзовый блок,  
3 — емкость с раствором,  
4 — светофильтры, 5 — матричный приемник

### Литература

1. Лопатин В.Н., Приезжаев А.В. Методы светорассеяния в анализе дисперсионных биологических сред. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 384 с.
2. Sapronov M.V., Skornyakova N.M., Usmanova S.S. Development of optical diagnostic method for colloidal solutions based on elastic light scattering // Journal of Physics: Conference Series, 2021. Vol. 2127(1). P. 012059.

*Д.А. Горбенко (НИУ «МЭИ») студ.;*  
*рук. С.И. Иншаков, к.т.н., доц., нач. сектора (ФАУ «ЦАГИ»)*

## **ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕГА В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ АЭРОХОЛОДИЛЬНОЙ ТРУБЫ**

В настоящее время весьма актуальной задачей является борьба с обледенением летательных аппаратов (ЛА). Для противодействия этому явлению необходима отработка антиобледенительных систем на наземных стендах. При этом важно знать характеристики многофазного потока, обтекающего модель ЛА на таком стенде. Одной из них является равномерность распыления снега в поток перед моделью. Для определения пространственной однородности искусственного облака в рабочей части аэрохолодильной трубы предложено использовать количество света, рассеянного облаком в плоскости лазерного ножа. Размер исследуемой области 1 м<sup>2</sup>. Предполагалось, что яркость зарегистрированного изображения линейно зависит от количества снежинок, освещённых лазерной плоскостью [1]. Для правильной оценки равномерности снежной (капельной) фракции необходим учёт таких факторов, как:

- геометрическая форма сечения плоскости лазерного ножа;
- геометрическая форма самой лазерной плоскости (в данном случае веерная, в случае прямоугольной этого фактора нет).

Для учёта первого фактора проводится нормировка рассеянного света по толщине лазерного ножа без частиц [2]. Второй фактор не учитывался.

В исследованиях использовался лазерный нож на основе непрерывного лазера RLM-DL532/h-5000 мощностью 5 Вт. Съёмка осуществлялась из форкамеры аэрохолодильной трубы (АХТ), видеокамера располагалась непосредственно у форсунки распыления снега.

В докладе представлены исследования потоков на 60, 100 и 140 м/с.

Личный вклад автора состоит в следующем:

- выполнена нормировка лазерной плоскости;
- рассчитана интенсивность потока на указанных скоростях.

Обработка кадров проводилась программой ImageJ. По представленным результатам экспериментов была сделана оценка равномерности распыления снега. Так же выяснилась наиболее удобная позиция для съёмки и был подобран необходимый светофильтр.

### **Литература**

1. **Бойко В.М., Оршич А.А., Павлов А.А., Пикалов В.В.** Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008, с. 410.
2. **Якушенков Ю.Г.** Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю.Г. Якушенков. — М.: Логос, 2004. — 472 с.



*Н.Ю. Сивов, студ.; рук. А.Ю. Поройков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ UNITY3D НА ПРИМЕРЕ КОДОВЫХ МАРКЕРОВ**

В современных исследованиях все большей популярностью пользуются методы компьютерного моделирования. Наибольший интерес представляет программное обеспечение, предназначенное для симуляции реального окружения. Оно позволяет практически полностью воспроизводить поведение объектов действительного мира в виртуальном.

Ключевым вопросом в использовании виртуального окружения является достоверность данных, получаемых с их помощью. Во многих технологиях используются специальные средства оптимизации, которые могут исказить некоторые свойства и поведение объектов. Эти функции зачастую направлены на визуальное улучшение презентуемого моделирования или на меньшее потребление вычислительной мощности компьютера. Оценка степени их влияния имеет важное практическое применение, так как позволит учесть их при проведении компьютерного моделирования.

В данной работе представлено, проведенное автором, исследование возможности применения среды Unity3D [1] для научных задач на примере моделирования кодовых маркеров. Для этого в виртуальной среде смоделирован объект с метками, движение которого задается заданными значениями его положения. Изображения передвижения этой модели записано с помощью симуляции цифровой камеры в виде серии изображений. Их обработка была проведена с помощью библиотеки компьютерного зрения OpenCV [2]. Результатом обработки является местоположение объекта относительно виртуальной камеры в разные моменты времени. В качестве эталонных значений были использованы данные математического моделирования. Сравнение полученных результатов даст возможность оценить достоверность и объективность данных, которые можно получить с использованием среды Unity3D, и степень влияния различных средств оптимизации на них.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка системы машинного зрения для определения положения объектов в пространстве на основе кодовых маркеров» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Unity3D:** Unity3D documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 10.11.2022).
2. **Bradski G.** Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. o'Reilly, 2008. 555 p.

*А.Д. Богачев, студ.;*  
*рук. А.Ю. Поройков, к.т.н., доцент. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ С КМОП-МАТРИЦЫ В ФОРМАТЕ JLS**

Актуальность разработки собственной цифровой видеокамеры для технического зрения в том, что на данный момент подавляющее большинство таких изделий зарубежного производства. Существенным недостатком применения готовых камер является отсутствие возможности подбирать параметры под конкретную задачу.

Целью данной работы является разработка на языке описания аппаратуры модуля получения изображений с макета печатной платы светочувствительной матрицы и его компьютерное моделирование. Модуль получения изображений состоит из контроллера камеры, буфера типа FIFO и контроллера памяти SDRAM. Отдельно для модуля получения изображений были разработаны вспомогательные внешние модули: КМОП-матрицы и памяти SDRAM. В ходе предыдущих этапов разработки цифровой видеокамеры для задач машинного зрения [1] был проведен расчет пропускной способности цифровой видеокамеры для машинного зрения. По его итогам в модуль получения изображений было решено добавить модуль сжатия изображений для решения проблемы с недостатком пропускной способности.

В докладе будет представлена реализация на языке описания аппаратуры SystemVerilog и моделирование в RTL-Viewer таких компонент модуля получения изображения как контроллер камеры, буфер типа FIFO, контроллер памяти SDRAM [2] и модуль сжатия изображений, основанный на стандарте сжатия JPEG, который выводит сжатое изображение в формате jls (JPEG-LS). Вспомогательные внешние модули КМОП-матрицы и памяти SDRAM также реализованы на языке описания аппаратуры SystemVerilog и смоделированы в RTL-Viewer. Также получена зависимость времени сжатия изображений от размера изображения и диаграмма сигналов модуля сжатия изображений при моделировании в среде ModelSim для реализованного модуля сжатия.

### **Литература**

1. **Богачев А.Д.** Разработка цифровой видеокамеры для задач машинного зрения; Радиотехника, электротехника и энергетика: Двадцать восьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (17–19 марта 2022 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга»», 2022. — 1000 с.
2. **Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис.** Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. / пер. с англ. Imagination Technologies. — М. ДМК Пресс, 2018. — 792 с.: цв. ил.

<sup>1</sup>П.И. Гембух, <sup>1,2</sup>К.Ю. Семёнов, асп.;  
рук. <sup>1,2</sup>М.В. Тригуб, д.т.н., доц.  
(<sup>1</sup>ИОА СО РАН, Томск; <sup>2</sup>НИ ТПУ, Томск)

## ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА НАКАЧКИ CuVr ЛАЗЕРА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Лазеры на парах металлов и их галогенидов благодаря своим достоинствам нашли применения в системах визуализации быстропротекающих процессов, сопровождающихся сильной фоновой засветкой. В работе [1] были продемонстрированы возможности визуализации при синхронизации камеры с усилителем яркости. Таким образом, изображение фиксируется в каждом импульсе лазерного излучения. При этом, заметно отличие в яркости изображений от импульса к импульсу, что усложняет дальнейший анализ полученных изображений.

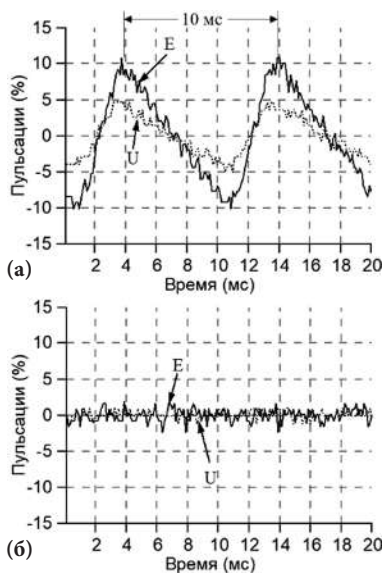
Существующие на рынке преобразователи, позволяющие регулировать выходное напряжение в широком диапазоне, имеют высокую стоимость. Было проведено сравнительные работы CuVr-лазера при использовании нестабилизированного источника и импульсного преобразователя со стабилизацией входного напряжения (рис. 1). В случае отсутствия стабилизации размах пульсаций напряжения на газоразрядной трубке (ГРТ) составил 10% и размах пульсаций генерации составил 20%. При использовании стабилизированного преобразователя размах пульсаций составил 2% и 4% соответственно.

Работа показывает важность использования стабилизированных преобразователей для питания CuVr-лазеров в тех случаях, когда требуется высокая повторяемость параметров генерации от импульса к импульсу, например для задач высокоскоростной визуализации быстропротекающих процессов в условиях широкополосной фоновой засветки.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ 19-79-20096-П.

### Литература

1. **Trigub M.V.** The Use of a Bistatic Laser Monitor for High-Speed Imaging of Combustion Processes // Atmospheric and Oceanic Optics. 2021. V. 34. Iss. 2. P. 154–159. doi: 10.1134/S102485602102010X.



**Рис. 1.** Пульсации напряжения на ГРТ (U) и излучения (E) для источника без стабилизации (а) и со стабилизацией (б)

*М.О. Геодакян, О.А. Соловьев, студ.;*  
*рук. В.В. Близнюк, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ МНОГОМОДОВОГО ЛАЗЕРНОГО ДИОДА ПО ТОКОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЕГО СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Разработка методики быстрой оценки качества гетероструктуры отдельно взятого многомодового лазерного диода (ЛД), смонтированного в оптико-электронный измерительный комплекс (ОЭК), является актуальной задачей.

Новизна проведенных исследований заключается в прогнозировании срока службы многомодового ЛД на начальной стадии его эксплуатации. При этом используются результаты исследований токовых зависимостей спектральных характеристик одномодовых лазеров [1, 2].

Для решения поставленной задачи авторами предложено проводить многократные измерения токовой зависимости спектральной характеристики многомодового ЛД через 200 часов с момента ввода в эксплуатацию ОЭК путем использования части излучения, распространяющегося в периферийной области лазерного пучка, и передачи по оптоволокну к входу спектрального прибора.

Анализ имеющего сложный вид спектра излучения многомодового ЛД  $f_{\text{экср}}(\nu)$  проводился путем его разложения на  $N$  составляющих с центральной частотой  $\nu_{0i}$  и полушириной  $i$ -ой кривой  $f_{\text{экср},i} \left( \frac{\nu - \nu_{0i}}{\Delta\nu_i} \right)$ :

$$f_{\text{экср}}(\nu) = \sum_{i=1}^N f_{\text{экср},i} \left( \frac{\nu - \nu_{0i}}{\Delta\nu_i} \right). \quad (1)$$

Спектр излучения ЛД на  $i$ -ой моде описывается функцией [1]:

$$f_{G i} \left( \frac{\nu - \nu_{0i}}{\Delta\nu_i} \right) = \exp \left[ -4 \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{\nu - \nu_{0i}}{\Delta\nu_i} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Экспериментально установлено, что качество гетероструктуры ЛД тем выше, чем в меньшей степени функция  $f_{\text{экср},i} \left( \frac{\nu - \nu_{0i}}{\Delta\nu_i} \right)$  отличается от функции (2).

Таким образом, предложенный метод оценки качества гетероструктуры ЛД является перспективным при проведении экспресс анализа лазера, смонтированного в ОЭК, без нарушения режима его функционирования.

### **Литература**

1. **Bliznyuk V.V.** et al. Estimating the operational lifespan of transverse single-mode laser diodes from their spectral characteristics // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. Allerton Press Inc. (United States), 2018. V. 82. N. 11, pp 1367–1370.
2. **Тарасов, А.Е.** Оптико-электронный комплекс, обеспечивающий прогнозирование срока службы торцевых лазерных диодов: дис. канд. техн. наук. Москва, 2021. 185 с.

*М.О. Геодакян, О.А. Соловьев, студ.;  
рук. В.В. Близнюк, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ МНОГОМОДОВОГО ДИОДНОГО ЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ПЛАНАРНОГО КАЛОРИМЕТРА**

Излучение лазерного диода (ЛД) в свободное пространство характеризуется большой расходимостью, т.е. увеличением апертуры лазерного пучка уже на малых расстояниях от выходного зеркала лазера. Это делает актуальным проблему измерения мощности прямого лазерного излучения и оптимизации размеров приемной площадки используемого для таких измерений планарного калориметра [1].

Для решения этой задачи проведен анализ работы планарного калориметра и рассчитана его зонная характеристика:

$$S^+ = \frac{\alpha^* \varepsilon \cdot \text{sh}(b\ell_{\text{ТБ}})}{\alpha S b \cdot \text{sh}(bL)} \left\{ \text{sh} \left[ b \left( \frac{L}{2} - x \right) \right] + \text{sh} \left[ b \left( \frac{L}{2} + x \right) \right] \right\} = \frac{\alpha^* \varepsilon \cdot \text{sh}(b\ell_{\text{ТБ}})}{\alpha S b \cdot \text{ch} \left( \frac{bL}{2} \right)} \text{ch}(bx), \quad (1)$$

где  $\alpha^*$  — относительная удельная термо-ЭДС термоэлектрической батареи (ТЭБ),  $\varepsilon$  — коэффициент поглощения излучения коллектором энергии,  $b$  — параметр распределенных потерь,  $\ell_{\text{ТБ}}$  — длина ветвей термопар,  $\alpha$  — коэффициент теплопроводности кремния,  $S$  — площадь поперечного сечения подложки в области расположения ветвей ТЭБ,  $L$  — длина преобразовательного элемента.

Новизна проведенных исследований заключается в учете зависимости апертуры коллектора энергии от параметра распределенных потерь с его поверхности.

Личный вклад автора заключается в проведении подробного анализа принципа работы и структуры основных элементов планарного калориметра.

Полученное в аналитическом виде соотношение для расчета зонной характеристики планарного калориметра унифицирует методику этого расчета для различных конструкций калориметра [2], что определяет перспективы использования полученных в данной работе результатов.

### **Литература**

1. **ГОСТ 8.275-2013.** ГОИ. Государственная поверочная схема для средств измерений средней мощности лазерного излучения и энергии импульсного лазерного излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 12,0 мкм — М.: Издательство стандартиформ, 2013.
2. **Тарасов, А.Е.** Оптико-электронный комплекс, обеспечивающий прогнозирование срока службы торцевых лазерных диодов: дис. канд. техн. наук. Москва, 2021. 185 с.

*П.А. Бережной, студ.;*  
*рук. А.Ю. Поройков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ДВУХПОЛОСНОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО БРЭГГОВСКОГО ОТРАЖАТЕЛЯ**

Распределенный брэгговский отражатель (РБО) или же дифракционное зеркало представляет собой периодические тонкие слои чередующихся материалов с высоким и низким показателем преломления. Каждая граница между слоями вызывает частичное отражение оптической волны, а при оптической толщине слоев в четыре раза меньше длины волны отраженные волны конструктивно интерферируют, что делает набор чередующихся слоев высококачественным отражателем. Диапазон длин волн, в котором отражается большая часть падающей интенсивности, называется полосой задерживания. Такие структуры находят свое применение в резонаторах лазеров, интерферометрах, спектральных фильтрах и фотонных детекторах [1].

В данной работе был произведен расчет нескольких вариантов структур РБО, имеющих две полосы задерживания с центральными длинами волн — 1064 нм и 1550 нм. В качестве материалов с высоким и низким показателями преломления были выбраны нитрид кремния и диоксид кремния соответственно. После расчета были выбраны варианты, у которых удалось получить необходимую характеристику с двумя полосами отражения.

Расчет количества слоев среды и спектров отражения произведен с помощью программного продукта для физического моделирования «Comsol Multiphysics», позволяющем моделировать распространение электромагнитных волн с помощью технологии трассировки лучей [2].

Полученное в процессе работы дифракционное зеркало будет изготовлено методом PECVD (Plasma-enhanced chemical vapor deposition) и использоваться в схеме однофотонного детектора, что говорит о перспективах использования результатов данной работы.

Личный вклад автора заключается в расчете множества вариантов реализации структуры зеркала, дальнейшем выборе структуры с необходимой характеристикой, а также в подборе оптимального количества слоев, чтобы при изготовлении не произошло потрескивание в ввиду больших остаточных механических повреждений.

### **Литература**

1. **Saygin Hinczewski D., Hinczewski M., Tepehana F.Z., Tepehan G.G.** Optical filters from SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> multi-layers using sol-gel spin coating method // Sol. Energy Mater Sol Cells, 87 (2005), pp. 181–196.
2. Distributed Bragg Reflector: [pdf]. [Электронный ресурс] URL: [https://www.comsol.com/model/download/957521/models.roptics.distributed\\_bragg\\_reflector.pdf](https://www.comsol.com/model/download/957521/models.roptics.distributed_bragg_reflector.pdf) (дата обращения: 22.07.2022)

*С.С. Дегоян, аспирант;  
рук. Н.М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ, СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ**

Анемометрия по изображениям частиц (АИЧ) [1] — бесконтактный метод, диагностики и измерения скорости воздушных потоков, с помощью которого можно получить информацию при процессе обтекания поверхности потоком в выбранном сечении, является одним из перспективных направлений в методах исследования. Этот метод занимает особое место в ряду других инструментов для исследования структуры течений, поскольку позволяет регистрировать поле мгновенного пространственного распределения скоростей. Он обладает рядом достоинств, таких как отсутствие возмущающего влияния на воздушный поток, что позволяет использовать его для исследования сложных турбулентных течений.

В данной работе автором была изучена, с помощью оптического микроскопа, обработанная плазмой поверхность. Были выполнены несколько фотографий поверхности, на основе которых проводился расчёт в среде Mathcad. Получены статистические характеристики исследуемого объекта, на основе которых построены математические модели поверхностей [2]. Автором был проведен эксперимент на измерительном комплексе, состоящем из лазера, двух синхронизированных камер, фиксирующих процессы. Зарегистрированные изображения обрабатываются с помощью кросскорреляционного алгоритма в программе DaVis 8.1. Исследование, представленное в докладе, позволит определить закономерности, возникающие при обтекании поверхности, в зависимости от закона распределения шероховатостей.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка лазерного комплекса диагностики обтекания тел в разреженных средах» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. Raffel M., Willert C., Scarano F., Kahler C., Wereley S., Kompenhans, J. Particle Image Velocimetry — A Practical Guide. Berlin, Springer, 2018, 669 p.
2. Брутян М.А., Будаев В.П., Волков А.В., Житлухин А.М., Карпов А.В., Климов Н.С., Меньшов И.С., Подковыров В.Л., Урусов А.Ю., Успенский А.А., Устинов М.В. Влияние фрактальной микроструктуры обтекаемой поверхности на характеристики турбулентного пограничного слоя // Ученые записки ЦАГИ, 2013. Т. XLIV, № 4. С. 15.

*Н.А. Агеев, аспирант;  
рук. Н.М. Скорнякова, д.т.н., доцент (НИУ МЭИ, Москва)*

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ ТЕНЕВЫМ ФОНОВЫМ МЕТОДОМ**

В последние годы быстрыми темпами идет развитие модификаций метода качественной и количественной оптической диагностики потоков ТФМ (теневого фонового метод) [1, 2]. Преимуществами ТФМ являются скромные требования к оборудованию и возможность получить не только качественные, но и количественные данные о потоке, также возможно визуализировать и исследовать процессы в оптически прозрачных жидкостях. Применение этого метода к процессам, происходящим в жидкости, является актуальной задачей, как научной, так и методологической. (добавить, где используется на практике)

Суть теневого фонового метода заключается в сравнении двух изображений одного и того же фона, снятых при отсутствии и при наличии между фотоаппаратом и фоном исследуемого оптически прозрачного объекта с неоднородностями. В представленной работе автором, проводится экспериментальное исследование динамики смешивания затопленных струй. Затопленная струя — это струя жидкости внутри жидкости с другими параметрами. (добавить более детальное описание эксперимента) Проанализировав смещение элементов фона на снимках, можно получить количественную информацию о градиенте показателя преломления исследуемой среды.

В проделанной работе автором, экспериментально выполняется визуализация струйных течений соленой воды в аквариуме с пресной водой с использованием теневого фонового метода. Экспериментальные картины обрабатываются методом кросскорреляции в программе PivView Demo 3.8. Сравнение полученных результатов с исследованиями, представленными в литературе, показывает применимость теневого фонового метода к качественной и количественной диагностике.

### **Литература**

1. **Inshakov, S.I., Skornyakova, N.M., Poroykov, A.Y., & Sychev, D.G.** Visualization of the aerodynamic vortices by Background Oriented Schlieren. // 10th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing // Naples, Italy, 15–18 June, 2015, 13 p.
2. **Kuchmenko, A.V., Koshelev, D.A., Skornyakova, N.M., & Shcherbakov, P.P.** Development of the system for quantitative gas-liquid flow visualization. // In *Journal of Physics: Conference Series*. // 15th International Conference on Optical Methods of Flow Investigation 2019, December, 8 p.



*А.И. Смирнов, студ.; рук. В.В. Близнюк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЧАСТОТ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ В СПЕКТРЕ МОЩНОГО ЛД**

В настоящее время оценка качества гетероструктуры мощного лазерного диода (ЛД) осуществляется путем анализа нескольких основных параметров его излучения, что усложняет процесс его оценки. Было экспериментально установлено, что оценку качества гетероструктуры ЛД можно осуществить, используя анализ только его спектральных характеристик.

С этой целью автором был разработан алгоритм и написана программа для определения центральных частот линий излучения в спектре мощного ЛД [1].

С помощью поточечной обработки спектрограмм автором были определены положения локальных максимумов в спектре. Также были получены значения центральных частот для дополнительных каналов модуляции.

Предложенный алгоритм с помощью усреднения соседних точек сглаживает исходный график. При малом количестве точек сглаживания остаются максимумы, даваемые шумом приёмника, а при большом — пропадают некоторые максимумы на центральных частотах линий излучения. Было определено оптимальное количество соседних точек для сглаживания — 10. После по полученному усреднённому графику ищутся локальные экстремумы. Так как исследуемая функция является непрерывной, то её экстремумы — это чередующиеся минимумы и максимумы. Учитывая этот факт можно определить расстояние между соседними минимумами и максимумами и отбросить те из них, изменение которых не превышает некоторую малую величину — максимальная амплитуда остаточного шума. Такие экстремумы обусловлены остаточным шумом после усреднения. Также имеется возможность регулировать величину максимальной амплитуды остаточного шума для более тонкой настройки.

В дальнейшем, предполагается связать методику оценки качества гетероструктуры мощного ЛД с появлением дополнительных каналов модуляции в его спектре [2].

### **Литература**

1. **Звелто О.** Принцип работы лазеров, М.: Мир, 1990.
2. **Ржанов А.Г.** Пространственное и спектральное разделение каналов генерации излучения в мощных лазерных диодах // Изв.АН, Сер. Физ, 2021, Т. 85, № 2.
3. **Близнюк В.В., Гвоздев С.М.** Квантовые источники излучения, М.: «ВИГМА», 2006.

*Г.А. Юрочкин, студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОБЪЕКТИВА СИСТЕМЫ ТИПА КАССЕГРЕНА, ДАЮЩЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО КАЧЕСТВА**

На данный момент актуальной является задача разработки и создания квантово-оптических систем наблюдения за космическими объектами. Исследования ведутся на многих крупнейших предприятиях. Появляются принципиально новые модели и модернизируются ранее созданные.

Расчет и проектирование качественной оптической системы, в которой абберации сведены к минимуму, а также обеспечено дифракционное качество изображения, является сложной технической задачей. Для получения таких характеристик необходимо использовать асферические поверхности. Они сложны в производстве, поэтому одной из задач проектирования является уменьшение количества таких деталей в готовой системе. С другой стороны, они позволяют избежать использования вспомогательных элементов. Поэтому проектирование таких систем является трудоемкой задачей. Рассматриваемый в работе объектив не является исключением.

В ходе работы автором была рассчитана и спроектирована относительно компактная и высокоточная оптическая система. Хроматические абберации отсутствуют, так как объектив зеркальный. Монохроматические абберации сведены к минимуму параметрами оптической системы. Главное зеркало имеет эллиптическую форму поверхности с коэффициентом деформации  $-0,581$ . Объектив имеет следующие конструктивные параметры: диаметр главного и вторичного зеркал — 427 мм и 170 мм соответственно, расстояние между компонентами — 300 мм, линейный коэффициент центрального экранирования — 0,4, относительное отверстие  $1/2$ . Величина остаточных волновых аббераций составляет 0,2 длины волны. Радиус кружка Эйри (световое пятно, которое получается при наилучшей фокусировке) составляет 1,435 мкм, а доля энергии в нем — ~88%. Влияние «спайдера» (крепление вторичного зеркала) на приведенные выше параметры незначительно и составляет 0,6%. В процессе проектировки объектива были предусмотрены множественные средства юстировки его составляющих.

### **Литература**

1. **Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова.** Расчет и проектирование оптических систем: Учебник для вузов. Логос, 2000. 584 с.
2. **С.М. Латыев.** Конструирование точных (оптических) приборов: Учебное пособие. Политехника, 2007. 579 с.

*С.А. Кудрявцев, аспирант;  
рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НТЦ УП РАН)*

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТАНА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ НА МЕСТНОСТИ**

Метан — третий по значимости парниковый газ в атмосфере. Его активность в 23 раза больше, чем у двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>). Согласно данным EPA (United states Environmental Protection Agency) показатели выбросов метана по всему миру стремительно растут. Так, например количество выбросов за последние 30 лет увеличилось на 3 млн. тонн CO<sub>2</sub> эквивалента ежегодно [1].

Дистанционное обнаружение утечек газа с летательных аппаратов имеет преимущества в оперативности и безопасности. Методы дистанционного обнаружения метана можно разделить по используемому физическому принципу на 4 основные группы: инфракрасная визуализация, метод комбинационного рассеяния, абсорбционная спектроскопия и акустическое зондирование (таблица 1).

**Таблица 1.** Сравнение методов

Метод	Производительность	Чувствительность	Влияние условий
ИК	низкая	низкая	высокое
МКР	средняя	высокая	низкое
АбС	высокая	высокая	низкое
АкЗ	высокая	низкая	высокое

Проведя сравнительный анализ, можно сделать вывод о том, что детектирование утечек метана методом абсорбционной спектроскопии является наиболее приоритетным направлением в развитии и использовании.

В целях определения оптимальных параметров при разработке данных систем автором проведен сравнительный анализ оборудования от ведущих мировых компаний и научно-исследовательских институтов. Были проанализированы следующие изделия и разработки: Gas Mapping LiDAR (Bridjer photonics, США), SHARM (BALL, Германия), RMLD-UAV (Heath, США), ALMA (Пергам, Россия), TDLidar (QLM, Англия).

В результате сравнения определены наиболее приоритетные направления для разработки новой системы с повышенной чувствительностью и лучшим пространственным разрешением на местности.

### **Литература**

1. EPA Non-CO2 Greenhouse Emission Projections & Mitigation Potential Reports (2019 & 2022)[сайт] URL:<https://cfpub.epa.gov/ghgdata/nonco2/>

**Секция 7**  
**РАДИОСИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ**  
**Radio navigation and communication systems**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Куликов Роман Сергеевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Силаева Елена Владимировна*

*А.С. Карпова, О.В. Вострикова, студенты;  
рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИГНАЛЬНО-КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТАНДАРТА DVB-S2 ПРИ ОШИБКАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФАЗЫ СИНХРОНИЗАЦИИ**

Системы цифровой связи становятся все более привлекательными вследствие постоянно растущего спроса и из-за того, что цифровая передача предлагает возможности обработки информации, не доступные при использовании аналоговой передачи [1]. В связи с ограниченностью ресурса связи и повышением требований к эффективности функционирования радиосредств разрабатываются стандарты, в которых используются различные сочетания видов модуляции и помехоустойчивых кодов. Такие сочетания позволяют достигать высокого качества работы радиосредств: при меньших отношениях SNR до минус 10 дБ и при работе каналов обработки не только в линейных, а также и в нелинейных режимах.

Цель работы — сравнительный анализ помехоустойчивости сигнально-кодových конструкций СКК стандартов спутниковой связи DVB-S2 и DVB-S2X, где используются различные сочетания видов модуляции и помехоустойчивых кодов.

В работе изучены особенности построения сигнально-кодových конструкций (СКК), используемых в стандарте DVB-S2 для обеспечения высокой помехоустойчивости приема, изучены способы синхронизации по тактам в демодуляторе сигнала M-PSK, изучена система тактовой синхронизации СТС, построены зависимости вероятности ошибки на выходе демодулятора цифрового сигнала от расогласования в СТС в рабочем режиме. Также проведена оценка достижимости исходных заявленных характеристик приема СКК и качества работы радиосистемы при неточном знании фазы тактовой синхронизации в демодуляторе приемника.

### **Литература**

1. **Скляр Б.** Цифровая связь. — М.: С.-Пб., Киев, Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1104 с.

*С.А. Чуйкин, С.А. Серов, П.Ю. Анучин, И.К. Щербатых, студенты;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА ДВУХАНТЕННОЙ МЕТКИ ДЛЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ НАВИГАЦИИ

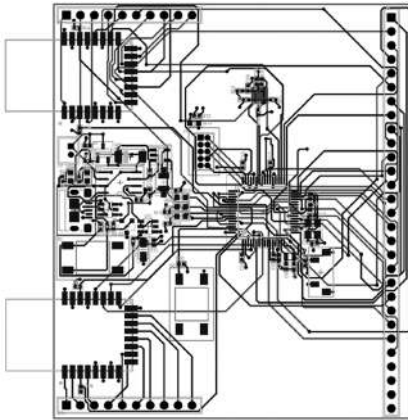


Рис. 1. Пример реализации метки ЛНС

для разработчиков. Данная плата позволяет использовать компоненты схемы в полном объеме путем наличия специальных выводов интерфейсов для подключения дополнительной периферии (пример печатной платы одного из вариантов ЛНС приведен на рисунке 1). Так же данная реализация метки может использоваться для учебных занятий по локальной навигации и разработчиков в новом форм-факторе. Благодаря наличию 2-х модулей DWM-1000 есть возможность не только приема сигнала с самой метки, но и передача на метку сообщений в СШП диапазоне. Наличие 2-х модулей с антенной открывает огромное количество возможностей, как для студентов, так и для разработчиков ЛНС в СШП диапазоне. Проанализирована работа с периферийными устройствами для различных конфигураций аппаратных блоков.

Локальные навигационные системы (ЛНС) являются весьма перспективными в современном мире. Особый интерес представляют ЛНС на сверхширокополосных сигналах (СШП). Они, в силу особенностей сверхширокополосных сигналов обладают возможностью применения, внутри помещения [1].

В данной работе рассматривается реализация аппаратной части ЛНС навигации внутри помещения на СШП (алгоритмы обработки сигналов, вычислительные устройства, источники питания). С возможностью как приема, так и передачи сигналов в данном диапазоне.

Рассматриваются реализации приемника комплекса ЛНС, существующие в данный момент на примере платы

### Литература

1. **Kulikov R., Chugunov A., Petukhov N., Semenov V., Malyshev A.** Investigation of Ultra-Wide Band Local Positioning System Accuracy Using Precise Laser Equipment // 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) / 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — 2021. — С. 1–4.

*А.А. Черкасова., асп; рук. А.Ю. Шатилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

**СПУТНИКОВАЯ НАВИГАЦИЯ:  
ВЕКТОРНЫЕ И ОДНОЭТАПНЫЕ АЛГОРИТМЫ,  
ОПТИМАЛЬНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ,  
КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ  
И СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Для улучшения помехоустойчивости и точности аппаратуры спутниковой навигации (АСН) используется векторная и одноэтапная обработка сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Дополнительный выигрыш в точности можно получить, применив алгоритмы оптимальной интерполяции [1]. Интерполяционная оценка формируется для некоторого момента в прошлом, что приводит к запаздыванию навигационного решения. Это можно компенсировать с помощью комплексирования инерциальной навигационной системы (ИНС) и АСН.

В рамках аспирантской научной работы проведен обзор исследований, посвященных векторной и одноэтапной обработке сигналов СРНС, алгоритмам оптимальной интерполяции и комплексированию ИНС и АСН.

Определено направление дальнейшего совершенствования алгоритмов обработки сигналов СРНС за счет векторных и одноэтапных алгоритмов, оптимальной интерполяции и комплексирования ИНС и АСН.

**Литература**

1. **Перов А.И.** Статистическая теория радиотехнических систем. Учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2022.

*С.В. Оробченко, А.О. Жирнова, С.С. Ерочкина,  
А.В. Павловский, студенты;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ОПОРНЫХ ТОЧЕК НА БАЗЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Для получения координатных определений внутри помещения, где сигналы глобальных навигационных спутниковых систем отсутствуют, все чаще используются локальные навигационные системы (ЛНС).

Наиболее эффективными являются ЛНС, реализующие позиционный метод навигации; данная эффективность компенсируется необходимостью развёртывания и поддержания инфраструктуры навигационных опорных точек (ОТ), что возможно в большинстве практических случаев. Как правило определение числа ОТ и их размещения при проектировании и развёртывании ЛНС решается интуитивно, что обычно приводит к избыточности инфраструктуры ЛНС и повышению ее стоимости.

В общем виде не существует аналитического решения задачи оптимизации числа ОТ ЛНС и/или их размещения в помещении произвольной формы, поэтому метод решения выбирается из класса численных методов. Одним из перспективных численных методов оптимизации являются итерационные генетические алгоритмы, которые подробно описаны в статье [1]. Для повышения эффективности генетического алгоритма необходимо оптимальное кодирование методов, выбор которых является индивидуальным для каждой постановки задачи. В частности, подбор метода выбора особей в популяцию оказывает значительное влияние на работу алгоритма.

### **Литература**

1. **Kulikov R., Petukhov N., Malyshev A., Tsaregorodtsev D.** Application of Genetic Algorithm for Determining the Locations of Reference Points of Local Navigation System and Minimizing their Number — 2021.



*Г.Р. Цымбал, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАДИОПЕРЕДАЧИ НА КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ АБОНЕНТОВ В РАМКАХ СПУТНИКОВОГО СЦЕНАРИЯ РАДИОСВЯЗИ**

Спутниковые системы связи (ССС), наряду с другими системами электро-связи, занимают своё особое место вследствие свойств, отличающих их от других систем, связанных с применением космических аппаратов (КА) связи на около-земных орбитах [1]. Применение технологии радиодоступа 5G NR (New Radio) в СССР позволяет осуществлять множественный доступ абонентов и обеспечивать их глобальное обслуживание на высоких скоростях передачи данных с низкими задержками в широкой полосе частот.

Цель работы — определение производительности соединения с учетом протокола физического уровня (PHY) 5G NR. Математическая модель спутникового радиоканала учитывает такие эффекты как: доплеровский сдвиг частоты, включая дисперсионную зависимость последнего, потери в радиочастотном канале, энергетические параметры радиопередачи, и оценка качества обслуживания абонентов.

Для решения поставленной цели на языке программирования MATLAB была написана модель канального уровня абонентской линии связи спутнико-вой системы на базе 5G Toolbox [2]. Модель канального уровня использовалась для определения статистических характеристик (BLER vs SNR) и производительности (Throughput) E2E (точка-точка) соединения для стандартных кодово-моду-ляционных схем.

Оцениваемые показатели качества: пропускная способность, задержка в радио-линии, количество выданного трафика абоненту рассчитывались с помощью написанного планировщика трафика.

В докладе представлены количественные оценки показателей качества обслужи-вания абонентов, по которым сделан вывод о применимости сигналов 5G NR в СССР.

В дальнейшем планируется провести аналогичные исследования для спутни-ковой группировки и сформированной абонентской модели.

### **Литература**

1. **А.И. Перов, В.Н. Харисов.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирова-ния / Под. ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М: Радио-техника, 2010. 800 с., ил.
2. MathWorks: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/satcom/ug/nr-ntn-pdsch-throughput.html> (Дата обращения: 11.10.2022)

*Н.С. Ламкова, студ.;  
рук. Е.Д. Бычков, д.т.н., проф. (ОмГУПС, Омск)*

## **АЛГОРИТМ ВЫБОРА МЕТОДА МОДУЛЯЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ**

Сложность выбора метода модуляции в сетях беспроводной сети передачи данных объясняется разнообразием сетевой ситуационной обстановки, внезапных отказов базовых станций (БС) в условиях ухудшения электромагнитной обстановки и т.д.

Пусть априорно известны источник и получатель информации, множество допустимых методов модуляции  $L = \{l_j\}$ , множество параметров (вероятность ошибки на бит, достоверности передачи и приема, скорости, отношения сигнал/помеха, дальности и т.д.) параметров (метрик) каналов  $\pi_n \in P$ , возможные ситуации электромагнитной обстановки сети  $C_\pi = \{c_k\}$ .

В связи с этим на каждой БС с программируемыми приемо-передающими устройствами априорно строятся нечёткие рефлексивные матрицы предпочтений методов модуляции  $M_{\pi}^l$ . Таким образом, с учётом состояний параметров радиоканалов  $\pi_n \in \Pi$  и возможных ситуаций  $c_k \in C_\pi$  строятся соответствующие рефлексивные нечеткие матрицы предпочтений [1].

Выбор наиболее приемлемого метода модуляции основывается на max-min композициях нечетких матриц  $M_{\pi}^l$  и матрицы метрик каналов  $M_{\pi}^{\pi_k}$  с последующей их сверткой.

Решение о выборе метода модуляции производится по правилу:

$$l_k^* = \arg \max_{l_i \in L} \mu_L(l_i / \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i), \quad (1)$$

где  $\mu_L(l_i / \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i)$

— функция принадлежности результата свертки матриц, т.е.  $\mu_L(\cdot) \equiv$  <Наиболее возможная область методов модуляции  $L$  по условию параметров  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i$ >;  $l_k^*$  — наиболее возможный метод модуляции при  $k$ -й ситуации в сети.

В работе приводится пошаговый алгоритм операций с предложенными матрицами. Также показана компьютерная реализация выбора метода модуляции в программной среде MATLAB.

### **Литература**

1. **Орловский С.А.** Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981.

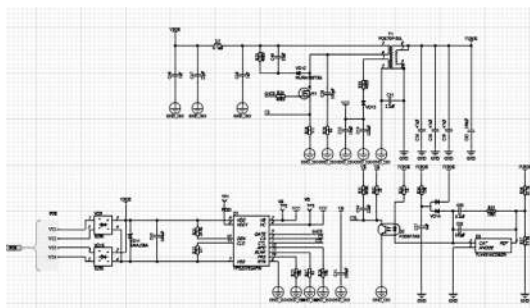
*И.К. Щербатых, С.А. Чуйкин, С.А. Серов,  
Н.Н. Руковишников, студенты;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОМАЯКА НА БАЗЕ РОССИЙСКОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА**

В современном мире Локальные навигационные системы (ЛНС) являются достаточно актуальной технологией в вопросах определения местоположения объектов в пространстве. Более того, ЛНС на сверхширокополосных сигналах (СШП) находят применение внутри помещений, например заводов, лабораторий и т.д. [1].

На сегодняшний день все используемые ЛНС на СШП работают на базе иностранных микроконтроллеров (в основном Nordic и STM32). Применяемый микроконтроллер должен обеспечивать не только прием сообщений меток и других маяков, но и предусматривать возможность начальной обработки навигационных параметров на борту.

В данной работе решена задача разработки маяка с использованием российского микроконтроллера, в частности от компании НИИЭТ. Разработанное в рамках данной работы устройство имеет множество интерфейсов, в частности POE (power over ethernet), схемотехническая реализация POE на разработанном устройстве приведена на рисунке 1. Данный интерфейс используется в первую очередь для облегчения работы с маяком в труднодоступных условиях. Кроме того, предусмотрен интерфейс Ethernet, что позволяет объединять маяки в единую сеть.



**Рис. 1.** Размещение компонентов маяка ЛНС на плате

### **Литература**

1. **Куликов Р.С., Царегородцев Д.В., Чугунов А.А.** Беззапросная сверхширокополосная радиосистема локальной навигации высокой точности // Радиотехника, 2018, N 9.

*Д.О. Макаревич, А.Е. Боев, С.В. Солдаткин,  
Л.Д. Угаров, студенты; рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НА БАЗЕ РАСШИРЕННОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В ПОМЕЩЕНИЯХ**

В современных реалиях актуальным является применение навигации в помещениях, таких как офисные пространства, склады, цеха предприятий, для автоматизации производства, отслеживания активов внутри помещения, соблюдения безопасности персонала и др. Технология сверхширокополосного радио является перспективной для построения навигационных систем внутри помещений, так как обеспечивает высокоточные измерения навигационных параметров с сантиметровой точностью и позволяет бороться с проблемой многолучёвости в помещениях.

Однако технологии СШП свойственны и недостатки радиотехнических систем — подверженность нарушению прямой видимости и ослаблению радиосигналов из-за препятствий. В англоязычной литературе условия работы навигационных систем в отсутствии прямой видимости называют термином NLOS (non-line-of-sight) [1]. Для повышения качества навигации применяют совместное использование различных измерителей функционально связанных параметров, таких как датчики инерциальной системы, радары, лидары и другие. В навигации такой подход называется комплексированием или интегрированием. Возможным решением может быть использование информации от инерциальных датчиков, что позволит устранить аномальные выбросы, вызванные NLOS из-за заслонения сигнала опорного СШП радиомаяка конструкциями в соответствии со спецификой планировки здания или возможными динамическими помехами внутри помещения. Для обработки измерений с инерционных датчиков и СШП-модулей появляется необходимость создания комплексного измерителя, синтез которого связан с применением теории оптимальной фильтрации.

Научно-техническая ценность заключается в разработке алгоритма комплексной обработки данных с измерителей различной природы на базе расширенного фильтра Калмана для решения задачи комплексирования для повышения качества навигационного обеспечения внутри помещения.

### **Литература**

1. **D. Gao, A. Li and J. Fu**, “Analysis of positioning performance of СШП system in metal NLOS environment,” 2018 Chinese Automation Congress (CAC), Xi’an, China, 2018, pp. 600–604, doi: 10.1109/CAC.2018.8623602.

*Р.Г. Рязанцев, С.В. Черных, Н.В. Морозов, студенты;  
рук. О.В. Глухов, асс. ( НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ НА БАЗЕ СШП РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

Требования к качеству навигации роботов внутри помещений при построении автоматических процессов на производстве непрерывно растут. Это объясняется усложнением технологических процессов, появлением новых бизнес-задач и ужесточением норм безопасности. Для навигации внутри помещений не подходит классический метод спутниковой навигации ввиду недоступности ГНСС сигналов из-за заслонения их прямого распространения и наличия многолучевости. Перспективным видится применение СШП радио технологии. СШП навигационно-связной стандарт обеспечивает выдачу измерений навигационных параметров с сантиметровой точностью, а также невосприимчив к многолучевости.

Существует несколько методов построения радионавигационных систем на базе СШП технологии. В работе будет рассмотрен дальномерный метод. С помощью данного метода можно строить различные архитектуры управления мультивалентным поведением роботов, такие как роевое управление, ведущий-ведомый. Дальномерный метод основан на измерениях дальности  $R_i$  между  $i$ -м радиомаяком и потребителем (радиометкой). Этот метод подробно описан в данной литературе [1].

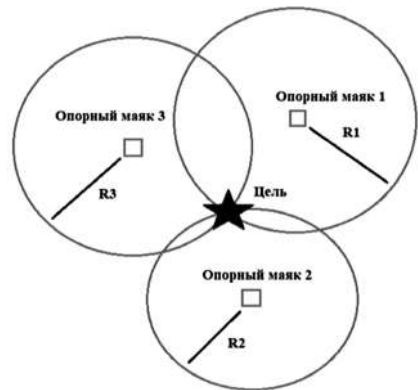
В этом методе навигационным параметром является дальность  $R_i$ , а поверхностью положения — сфера с радиусом  $R_i$  и центром, расположенным в центре  $i$ -го масс радиомаяка. Уравнение сферы имеет вид

$$R_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Здесь  $x_i, y_i, z_i$  — известные на момент измерения координаты  $i$ -го радиомаяка (с учетом его перемещения за время распространения сигнала);  $x, y, z$  — координаты потребителя.

Местоположение потребителя, т.е. координаты  $x, y, z$ , определяются как координаты точки пересечения трех поверхностей положения, другими словами трех сфер. Поэтому для реализации дальномерного метода необходимо измерить дальности используя формулу (1) до трех радиомаяков (Рис. 1).

Таким образом, для дальномерного метода навигационная функция пред-



**Рис. 1.** Пересечение трёх поверхностей положения

ставляет собой систему из трех уравнений вида (1). Ввиду нелинейности такой системы уравнений возникает проблема неоднозначности определения координат потребителя, устраняемая с помощью известной потребителю дополнительной информации (ориентировочные координаты потребителя, его радиальная скорость и т. д.).

Как итог, был разработан алгоритм решения навигационной задачи на базе СШП радионавигационной системы с использованием дальномерного метода для мобильных роботов.

### Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования // под. ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — Изд. 4-е перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010.

*Н.Н. Руковишников, А.П. Малышев, С.А. Серов, студенты,  
Т.А. Бровко, аспирант; рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ СШП СИГНАЛОВ**

Определение координат объекта в пространстве, в частности в помещении, всегда представляет интерес как теоретический, так и практический. Высокоточное позиционирование в закрытых помещениях актуально для таких сфер как промышленность, логистика и складирование, где необходимо отслеживание множества объектов, таких как персонал, товар и инвентарь.

Целью научного исследования является разработка алгоритма для оценки относительных координат группы потребителей в составе «каравана» по принципу ведущий — ведомый. В этой модели первое устройство служит ведущим, а ведомое устройство оценивает свои координаты относительно ведущего, и при этом является ведущим для следующего в «караване».

Наиболее подходящей системой навигации для решения данной задачи являются системы, использующие сверхширокополосные (СШП) сигналы. Сверхширокополосные сигналы имеет преимущества, по сравнению с узкополосными сигналами, где требуется высокая точность позиционирования.

В работе представлен анализ существующих архитектур систем навигации с использованием сверхширокополосных сигналов [1]. Обоснован выбор архитектуры для решения данной задачи.

В результате работы получены характеристики системы навигации на базе СШП сигналов путем имитационного моделирования, в котором реализовано одно звено «каравана».

### **Литература**

1. **K. Zhang, C. Shen, M. Bao, D. Vaniushkina, K. Kumushai and L. Zang**, “Research on Optimization Algorithm Based on PDOA,” 2021 IEEE 21st International Conference on Communication Technology (ICCT), 2021, pp. 1427–1430, doi: 10.1109/ICCT52962.2021.9658075.

*А.А. Вислова, студ.; рук. А.А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА МАГИСТРАЛЬНОГО СТВОЛА ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ И МОНИТОРИНГА (СДКМ)**

Бортовой ретрансляционный комплекс (БРТК) является важнейшей составной подсистемой космического аппарата (КА) и является полезной нагрузкой, определяющей его функциональное назначение. В современных КА связи надежность и ресурс БРТК определяют срок службы КА, а из его функциональных характеристик в конечном итоге складываются требования к таким подсистемам КА, как подсистемы ориентации, коррекции орбиты, электропитания, терморегулирования, командно-телеметрической. Основной функцией бортового ретрансляционного комплекса (БРТК) является приём сигналов от земных станций, их предварительное усиление и передача сигналов на другие земные станции с внесением при ретрансляции минимальных помех и искажений, причём следует иметь в виду, что уровни сигнала, поступающего на БРТК, достаточно малы.

Целью данной работы является разработка приёмного устройства магистрального ствола для спутника-ретранслятора «Луч-5В», предназначенного для приёма сигналов в диапазоне частот 12,7–13,0 ГГц с минимальными значениями коэффициента шума и КСВ и их предварительного усиления. Электропитание осуществляется от бортовой сети системы электропитания стабилизированным напряжением 100 В, предусмотрены схемы резервирования, дублирование каскадов усиления. В устройстве обеспечено подавление зеркального канала с помощью волноводного фильтра в диапазоне частот от 11900 до 12200 МГц, а также стойкость к радиации и внешним воздействующим факторам космического пространства.

В приборе применяется электронная компонентная база отечественного производства (ЭКБ ОП) повышенной надёжности, что увеличивает научно-техническую ценность разработки ввиду импортозамещения.

### **Литература**

1. **Орлов А.Г., Севастьянов Н.Н.** Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры. / науч. ред. В.Н. Бранец — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. — 206 с.
2. **Калашников Н.И.** Системы связи через ИСЗ. — М.: Связь, 1969.



*К.В. Кочка, С.В. Орбаченко, А.Д. Евсеев, студенты;  
Н.И. Петухов, асп.; рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУР ЛОКАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ОПОРНЫХ ТОЧЕК**

На сегодняшний день актуальны разработки в области локальных навигационных систем (ЛНС). В качестве перспективных ЛНС можно выделить ЛНС, базирующиеся на позиционном методе навигации.

Основой позиционного метода навигации является инфраструктура в виде навигационных опорных точек (ОТ) с заранее известными координатами. Развертывание инфраструктуры ОТ — трудоемкий процесс, требующий квалифицированных специалистов и дополнительного измерительного оборудования. Определение оптимального количества и расположения ОТ является необходимой задачей, т.к. снижение числа используемых ОТ позволит снизить стоимость ЛНС, но и приводит к снижению точности работы системы. Ввиду того, что различные позиционные методы требуют неодинаковое количество ОТ и позволяют достичь различной точности, исследование позиционных методов навигации на предмет минимизации числа ОТ является важным шагом для совершенствования существующих и разработки новых ЛНС.

В данной работе проводится моделирование и расчет коэффициента геометрии, а также формируется его зависимость от числа ОТ для различных архитектур ЛНС. Проведенная работа позволяет определить их преимущества и недостатки.

### **Литература**

1. **Kulikov R., Petukhov N., Malyshev A., Tsaregorodtsev D.** Application of Genetic Algorithm for Determining the Locations of Reference Points of Local Navigation System and Minimizing their Number — 2021.

*А.Е. Боев, С.В. Солдаткин, Д.О. Макаревич,  
П.И. Вотякова, студенты; рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

В настоящее время возрастает необходимость высокоточного определения параметров движения человека, особенно в закрытых помещениях. Решение этой задачи актуально в таких областях как офисные пространства и цеха предприятий, для соблюдения безопасности сотрудников и автоматизации производства.

Классические методы и алгоритмы решения навигационной задачи используют определенные допущения и приближения для упрощения используемого математического аппарата, что на практике приводит к сильному несоответствию математических моделей реальным физическим процессам. Из чего становится актуально исследовать применение других типов алгоритмов, например аппарата искусственных нейронных сетей, показывающего впечатляющие результаты в других инженерных областях, таких, как обработка человеческой речи и распознавание изображений, что также является примером цифровой обработки сигнала.

При этом уже существуют работы, использующие нейронные сети для решения навигационных задач. Так, например, в работе [1] рассматривается создание нейронной сети для решения задачи фильтрации дальности и пеленга на цель, снятых с угломерного радиоизмерителя, для навигации робота за человеком. Результаты показали, что ошибки оценок навигационных параметров, выдаваемых нейронной сетью, близки к оптимальным, показываемым фильтром Калмана. Последнее объясняется тем, что при синтезе фильтра Калмана используется модель измерений, основанная на ошибках, подчиняющихся гауссовскому закону распределения с равномерной спектральной плотностью мощности.

В данной работе разрабатывается алгоритм на базе искусственной нейронной сети, который обрабатывает измерения с сверхширокополосной радионавигационной системы, решая навигационную задачу в закрытых помещениях.

Научно-техническая ценность заключается в разработке нейросетевого алгоритма, построенного на модели измерений, отличающихся от общепринятой концепции использования модели белого гауссовского шума для описания ошибок измерений.

### **Литература**

1. **Glukhov O., Masalkova N., Kulikov R., Brovko T., Tsaregorodtsev D.** Artificial Neural Network in the Control Loop of a Wheeled Robot. 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE).

*С.В. Солдаткин, А.Е. Боев, Д.О. Макаревич,  
И.О. Лисюков, студенты; рук. О.В. Глухов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ НА РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПОМЕЩЕНИИ**

Перспективной основой построения навигационных систем в помещениях может стать сверхширокополосный (СШП) радиостандарт связи и навигации[1]. Использование навигационных систем на базе СШП технологии позволит в потенциале добиться сантиметровой точности определения местонахождения с высокой надежностью. Также СШП технология позволит устранить эффект многолучевости и гарантирует навигационное обеспечение в отсутствие спутниковых сигналов в помещениях. У этих систем, как и у любой настраиваемой системы с большой инфраструктурой, есть свой минус — систематическая ошибка измерений, которая обусловлена различными методическими, инструментальными факторами. Это приводит к тому, что при разрешении навигационной задачи возникает систематическое смещение области решений.

В данной работе рассматривается радионавигационная система на базе программно-аппаратного комплекса ПИРС, состоящий из сверхширокополосных приёмно-передающих радиомодулей и влияние систематической ошибки при использовании комплекса ПИРС на решение навигационной задачи.

Научно-техническая ценность работы заключается в получении оценки влияния систематической ошибки при использовании СШП навигационной систем для будущей коррекции решения навигационных задач.

Практическая ценность результатов заключается в возможности снижения систематической ошибки решения навигационной задачи до 6–8 сантиметров.

Влияние систематической ошибки при использовании СШП систем на решение навигационных задач в данный момент не изучено и требует исследования для увеличения точности решения навигационных задач.

### **Литература**

1. AA Chugunov, RS Kulikov, DV Tsaregorodcev, NI Petukhov “Ultra-wide band positioning for automatic guided vehicles,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 537, Issue 3.

*С.В. Черных, Р.Г. Рязанцев, Н.В. Морозов,  
А.П. Малышев, студенты; рук. А.А. Чугунов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПСЕВДОДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В СШП ЛНС**

Фактическим стандартом для навигации в открытом пространстве являются глобальные спутниковые навигационные системы (ГНСС), однако их радиосигналы имеют низкое качество или недоступны в помещениях, под землей, в тоннелях, а также в зонах, где присутствует помеховая обстановка. Для решения задач позиционирования объектов в областях, где ГНСС не обеспечивают достаточное качество работы, применяются локальные навигационные системы (ЛНС). Одним из самых перспективных направлений является использование сверхширокополосных (СШП) ЛНС, обеспечивающих более высокую точность определения координат по сравнению с аналогичными системами на базе Bluetooth и Wi-fi.

Одной из наиболее распространенных архитектур построения СШП ЛНС является разностно-дальномерная (РД) архитектура с активными метками и пассивными опорными маяками. Определение координат меток в данной архитектуре основано на измерении разностей задержек времен приема радиосигналов меток на опорных маяках с известными координатами. Вопрос модификации данной архитектуры путем передачи информации о времени излучения метки в радиосигнале в литературе не освещен. Однако данная модификация позволяет осуществить переход к псевдодальномерному (ПД) методу определения координат, который учитывает расхождение шкал времени (ШВ) метки и системы и обеспечивает более высокую точность определения координат [1].

В данной работе рассматривается алгоритм решения навигационной задачи для СШП ЛНС на базе расширенного фильтра Калмана для ПД архитектуры построения СШП ЛНС. Цель работы — сравнить два подхода к решению навигационной задачи: без информации о времени излучения (РД архитектура) и с использованием информации о времени излучения (ПД архитектура), а также оценить выигрыш предлагаемого подхода.

Научно-техническая ценность заключается в разработке принципиально нового алгоритма решения навигационной задачи в СШП ЛНС, построенного на модели измерений, отличающихся от общепринятых добавлением времени излучения в радиосигнал метки.

### **Литература**

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования // под. ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. — Изд. 4-е перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010.

*С.В. Солдаткин, А.Е. Боев, П.Ю. Анучин, студенты;  
рук. Т.А. Бровко, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ ОДНОЙ ОПОРНОЙ ТОЧКИ С ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЁННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКОЙ**

Разработка систем навигации внутри помещений является актуальной задачей современности [1]. Такие системы находят свое применение в различных областях: системы безопасности, геолокационная аналитика, навигационные сервисы для сложных общественных зданий. Зачастую сферы применения и конкретные объекты требуют большого количества опорных радиомаяков. Очевидно, что увеличение количества элементов системы ведет к повышению стоимости всей системы, а также к снижению устойчивости всей системы.

Целью работы является разработка модели радионавигационной системы с одним маяком, а так же провести имитационное моделирование разработанной архитектуры с целью определения её точностных характеристик.

В ходе проведения работы были решены следующие задачи:

- а) была проведена классификация методов, подходов и технологий построения систем навигации с использованием одного опорного радиомаяка;
- б) разработана математические модели процессов внутри системы и алгоритмы позиционирования потребителей;
- в) разработана и программно реализована имитационная модель системы, на основе которой проведены исследования.

В результате работы получен анализ современного состояния исследований в области систем навигации на базе одиночной опорной точки, разработаны и программно реализованы математические модели и алгоритмы позиционирования потребителей с помощью одного маяка.

### **Литература**

1. V. Korogodin, A.P. Malyshev, A.A. Chugunov, T.A. Brovko, A.Y. Siziakova and R.R. Vakhitov, "Comparison of local ultra-wideband radio navigation systems architectures," 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731398.

*А.О. Жирнова, С.В. Оробченко, С.С. Ерочкина,  
А.В. Павловский, студенты;  
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ. ПОИСК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА МУТАЦИИ**

Локальные навигационные системы (ЛНС) в настоящее время все чаще используют для поиска координатных определений внутри помещения, где сигналы глобальных навигационных спутниковых систем отсутствуют.

Наиболее действенными являются ЛНС, реализующие позиционный метод навигации; это преимущество компенсируется необходимостью развёртывания и поддержания инфраструктуры навигационных опорных точек (ОТ. Как правило определение числа ОТ и их размещения при проектировании и развёртывании ЛНС решается интуитивно, что обычно приводит к избыточности инфраструктуры ЛНС и к увеличению её стоимости.

В общем виде не существует аналитического решения задачи оптимизации числа ОТ ЛНС и/или их размещения в помещении произвольной формы, поэтому метод решения выбирается из класса численных методов. Одним из перспективных численных методов оптимизации являются итерационные генетические алгоритмы, которые подробно описаны в статье [1].

Одним из важнейших этапов генетического алгоритма является мутация. Данный оператор необходим для «выбивания» популяции из локального экстремума и препятствует преждевременной сходимости. Для повышения эффективности генетического алгоритма необходим выбор оптимального вида мутации.

### **Литература**

1. **Kulikov R., Petukhov N., Malyshev A., Tsaregorodtsev D.** Application of Genetic Algorithm for Determining the Locations of Reference Points of LocalNavigation System and Minimizing their Number — 2021.

*А.Д. Евсеев, С.В. Оробченко, К.В. Кочка, студенты;  
Н.И. Петухов, асп.; рук. Р.С. Куликов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СНАРЯДОВ ПРИ СТРЕЛЬБОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

В настоящее время для оценки траекторий движения нереактивных боеприпасов калибра 5 мм и более, перемещающихся по баллистической траектории, используют специальные радиолокационные станции (РЛС) типа «ЛУЧ-88» [1].

Цель работы заключается в разработке алгоритма обработки измерений траекторных параметров снаряда, полученных с помощью модернизированной РЛС.

Предложенный алгоритм осуществляет сглаживание траекторных параметров снаряда и оценку его координат в топоцентрической стартовой системе координат [2]. В работе представлены результаты оценки погрешностей траекторных параметров пули с помощью предлагаемого алгоритма при разном составе первичных измерений модернизированной РЛС.

### **Литература**

1. Доплеровская радиолокационная станция ЛУЧ-88 М2. [http://ntiim.ru/skbinde.php?x=l\\_m2](http://ntiim.ru/skbinde.php?x=l_m2)
2. **Суфиянов В.Г.** Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и обработки артиллерийских систем: диссертация... Доктора технических наук: 05.13.01 // [Место защиты: ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова], 2017. — 315 с.

А.А. Дубовик, студ.; рук. К.В. Грешневиков, к.ф.-м.н., доц.  
(СПБПУ, Санкт-Петербург)

## ПЕРЕДАЧА СИГНАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОГО ПОДМЕШИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТТРАКТОРА ТОМАСА

Шифрование информации при помощи динамического хаоса активно развивается в последние десятилетия. В данной работе использован метод нелинейного подмешивания [1] и на его основе написаны программы для кодера и декодера информационного сигнала.

Информационный сигнал — это текстовое сообщение в виде ASCII-кодов. Номер символа записывается в массив в двоичном виде и суммируется с соответствующим дискретным отсчетом хаотического сигнала. Хаотический сигнал рассчитывается по уравнениям, описывающим аттрактор Томаса [2]. Данный аттрактор хорошо подходит для шифрования сигнала из-за небольшого разброса значений: от единиц до десятых. Уровень информационного сигнала задается пользователем (рис.1), т.е. запрашивается с монитора порта.

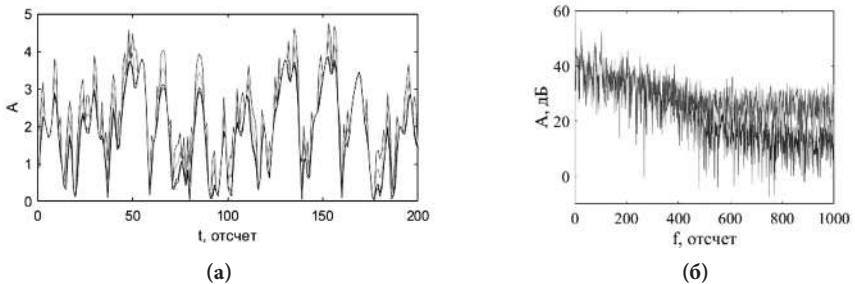


Рис. 1. (а) Формируемый в кодере суммарный сигнал при уровнях информационной составляющей: 0, 0.1, 0.5, 1. (б) Фурье спектры сигналов: модуль хаотического и суммарного (уровень информационного 1)

Система кодирования включает в себя параметры шифрования:  $dt$  — параметр дискретизации,  $сoma\_znack$  — приращение сигнала,  $first\_znack$  — временной отсчет, с которого начинается шифрование. Также для большей скрытности берется не сам хаотический сигнал, а его модуль.

Уровень шума в канале не должен превышать половины уровня информационного сигнала, т.к. это влечет к ошибкам в дешифраторе.

### Литература

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физ.-мат. Лит-ры, 2002.
2. Thomas R., Deterministic chaos seen in terms of feedback circuits: Analysis, synthesis, 'labyrinth chaos' // Int. J. Bifurcation and Chaos. 1999. N 9 (10).



**Секция 8**  
**ФОТОНИКА**  
**Photonics**

---

*Председатель секции: к.ф.-м.н. Туркин Андрей Николаевич*

*Секретарь секции: Иликеева Римма Анваровна*

*И.И. Железнов, асп.; рук. О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО ИСТОЧНИКА УФ ИЗЛУЧЕНИЯ

Проведено экспериментальное исследование характеристик безэлектродного источника УФ излучения (185–280 нм) на основе коаксиального СВЧ разряда (2,45 ГГц) низкого давления, возбужденного в смеси паров ртути (Hg) с аргоном (Ar) в кварцевой трубке на мощностях,  $P_{эл} = 300 \div 1000$  Вт (рис. 1) [1].

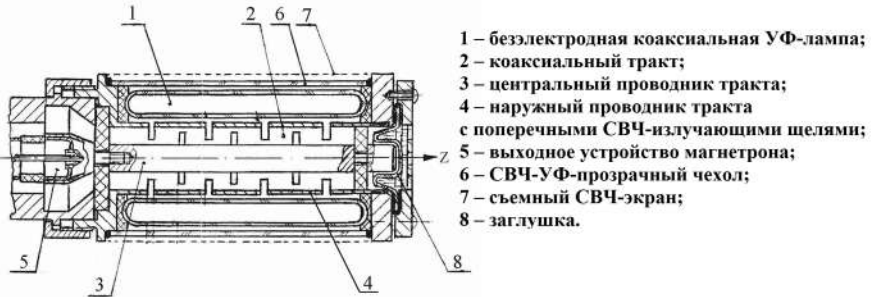


Рис. 1. Микроволновый источник УФ-излучения [1]

Установлено, что равномерное распределение электрического поля в осевом и радиальном направлениях излучения безэлектродной лампы и максимальный КПД генерации излучения (~20%) достигаются при электрической мощности  $P_{эл} = 687$  Вт и давлении паров ртути  $p = 0,03\text{--}0,06$  Торр. Выявлены возможности повышения мощности УФ-излучения за счет разделения катодной и анодной цепей источника питания магнетрона. Данные, полученные в процессе исследования, согласуются с теоретическим описанием поведения СВЧ ртутного разряда низкого давления. На основании полученных в работе результатов построен принцип создания систем безэлектродных СВЧ ламп для обеззараживания и очистки воздушно-водных сред.

### Литература

1. **Zheleznov I.I., Konovalov S.V, Vanin I.D.** Electrodeless microwave source of bactericidal ultraviolet radiation // Proc. of the 13th Asia lighting conf. (Beijing, China), pp. 789–791.

*Е.П. Василев, студ., рук. П.А.Смирнов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦАХ**

Для эффективного прохождения фотобиологических процессов в растениях требуется особый спектр излучения и благоприятная внешняя среда. Это обусловлено тем, что каждому пигменту соответствует свой индивидуальный спектр поглощения и, соответственно, своя спектральная характеристика световой активности возбуждающего излучения [1]. Для достижения максимально возможного результата при выращивании в условиях закрытого грунта, необходимо понимание, при каких параметрах и условиях внешней среды, будет наилучший результат в виде биомассы/плодов.

С этой целью автором исследования был произведён комплексный анализ начиная с теоретической оценки разнообразных фотобиологических процессов (в частности влияние спектрального состава излучения на протекание реакций, влияние температуры, углекислого газа и влажности) и их влияние на конечный результат в виде биомассы/массы плодов. На основе данного анализа, была произведена разработка эффективного светодиодного модуля с оптимальными характеристиками и поставлен практический эксперимент, в котором производилось статическое изменение спектрального состава излучения. В данной работе исследовались светодиоды с наибольшим влиянием на пигменты растений. Затем данные были статистически обработаны и осуществлён их анализ. Исходя из результатов анализа определили наиболее оптимальные параметры, которые необходимо изменять/стабилизировать для получения наиболее благоприятного результата в виде конечного продукта (плоды, биомассы и т.д.).

Результаты, полученные в ходе этой работы, могут иметь как прикладную ценность при проектировании установок для выращивания в искусственных условиях (теплицы и т.д.).

### **Литература**

1. **McCree, K.J.** (1972) Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191–216.

М.А. Ахмадов, студ.; Р.А. Иликеева, асп.;  
О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ БЕСФЕРРИТНЫХ УФ ЛАМП

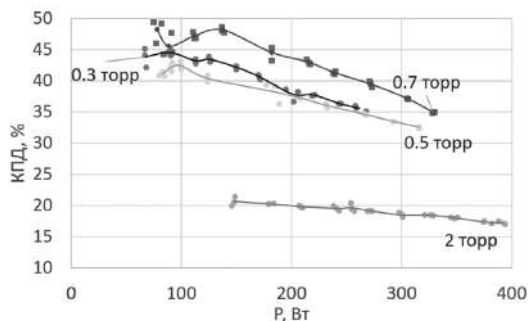


Рис. 1. График зависимости КПД плазмы ламп от их мощности при разных давлениях инертного газа

в пропорции 30/70 соответственно в качестве буферного газа. Разряд в лампе зажигался при частоте электрического поля 13,56 МГц при мощностях плазмы 40–450 Вт при давлениях инертного газа 0,3, 0,5, 0,7 и 2 торра.

Измерения показали, что максимальное значение КПД генерации УФ излучения достигается при мощностях лампы 75–150 Вт у лампы с давлением буферного газа 0,7 торр и составляет 49,4%. Тем не менее, данное значение меньше, чем полученное в [1] у лампы с таким же давлением такой же смеси буферного газа, работавшей на частоте 1,7 МГц. У лампы с давлением буферного газа 2 торр наблюдается слабая в сравнении с прочими лампами зависимость КПД генерации УФ излучения от мощности, который в процессе исследования изменялся в пределах 15–22%. Лампы с давлением буферного газа 0,3, 0,5 и 0,7 торр при больших мощностях достигали значений КПД генерации УФ излучения около 35%. В работе обсуждаются причины уменьшения КПД выхода УФ резонансного излучения данных ламп с ростом частоты электрического поля.

### Литература

1. Старшинов П.В., Попов О.А., Иликеева Р.А., Буреева Д.А., Ирхин И.В., Левченко И.В., Терехов Г.П. Эффективный источник УФ излучения на основе бесферритного индукционного ртутного разряда в замкнутой трубке малого диаметра // Светотехника. — 2020. — № 1. — С. 56–59.

*Д.Н. Литвиненко, студ.; рук. А.Н. Туркин, к.ф.-м.н., доц.  
(МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва)*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА БЕЛЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ**

В органических светодиодах свет излучается при пропускании электрического тока через тонкие плёнки органических материалов. Благодаря многообразию органических электролюминесцентных материалов (ОЭЛМ), позволяющему в принципе получать любой цвет свечения, OLED первоначально нашли своё применение в дисплейных технологиях. Однако, с начала XXI в. ведутся работы по оптимизации источников света на основе OLED, перспективных благодаря тому, что OLED обладают рядом фундаментальных преимуществ по сравнению с неорганическими светодиодами [1].

Одной из основных проблем в области высокомолекулярных полимерных светодиодов остаётся нестабильность их характеристик в зависимости от температуры, связанная с процессами стеклования полимерных слоёв. На низкомолекулярные ОЭЛМ, используемые в современных OLED-дисплеях, температура также оказывает воздействие, ускоряя выгорание пикселей синего цвета. Так как источник света в процессе непрерывной работы может значительно нагреваться, возможно ухудшение его цветовых характеристик, падение коэффициента цветопередачи.

В рамках данной работы были исследованы спектры ЭЛ органических светодиодных панелей белого цвета свечения в широком диапазоне температур и яркостей, дана качественная интерпретация на основе теории рекомбинации электронно-дырочных пар в неорганических полупроводниках. Установлена зависимость координат цветности CIE (x, y) образцов от температуры, имеющая линейный характер; при определённых температурах наблюдаются отклонения от планковской кривой. Наблюдалось подавление эксиплексных переходов в синем эмиссионном слое.

Полученные результаты будут использованы коллегами для гамма-коррекции полноцветных активноматричных микродисплеев.

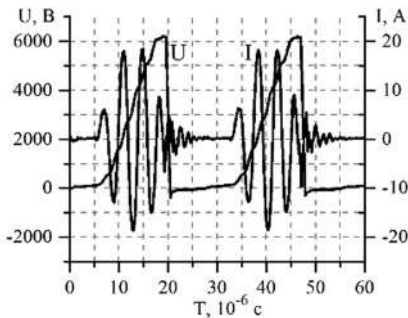
### **Литература**

1. **Стахарный С.А.** Перспективы органических светодиодов в системах освещения // Современная светотехника, #3, 2010.

<sup>1,2</sup>К.Ю. Семенов, асп.; <sup>2</sup>П.И. Гембух, асп.;  
рук. <sup>1,2</sup>М.В. Тригуб, д.т.н., доцент  
(<sup>1</sup>НИ ТПУ, Томск; <sup>2</sup>ИОА СО РАН, Томск)

## МАЛОГАБАРИТНЫЙ ИСТОЧНИК МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЗАРЯДА НАКОПИТЕЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА CuVr-ЛАЗЕРА

В современном мире существуют процессы, исследовать протекание которых затруднительно без специальных технических средств, например, сварка, лазерная абляция мишеней из металлов и тугоплавких оксидов и т.п. В задачах визуализации таких процессов применяются усилители яркости изображения на базе CuVr-лазеров [1], существенный недостаток которых — большие массогабаритные параметры, определяемые магнитными элементами низкочастотного блока заряда накопительной емкости.



**Рис. 1.** Напряжение на накопительном конденсаторе ( $U$ ) и ток первичной обмотки повышающего трансформатора ( $I$ )

режимы с числом импульсов от 4 до 12, что не является предельными режимом.

Было проведено экспериментальное исследование работы спроектированного устройства. Накопительная емкость составляла 870 пФ и заряжалась до напряжения 6 кВ (рис. 1), после чего коммутировалась на газоразрядную трубку CuVr-лазера (длина активной зоны 50 см, диаметр 2 см) при помощи тиратрона ТГИ1-270/12 с частотой 36 кГц. Мощность генерации составила 1,2 Вт, а при введении водородсодержащей добавки — 1,6 Вт.

Полученные результаты позволяют реализовать малогабаритную систему визуализации с временным разрешением 27,8 мкс.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ 19-79-10096-П

### Литература

1. **Trigub M.V.** Bistatic laser monitor for imaging objects and processes // *Appl. Phys. B.* 2020. V. 126. P. 3. <https://doi.org/10.1007/s00340-020-7387-5>.
2. **Андрienко О.С.** // *Оптика атмосферы и океана.* 2004. Т. 17. № 11. С. 890.

*О.Д. Ли, К.Ж. Молдыбаева, студенты;  
рук. С.М. Лебедкова, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСВЕЩЕНИЯ СКУЛЬПТУР В ЗАЛАХ МУЗЕЯ**

Главное отличие освещения скульптур от освещения картин это их трёхмерность и объем. Свет и тень подчеркивают характер поверхности и материала, придают четкость контурам и выделяют скульптуру в окружающем пространстве. Показателем качественной подсветки является не создание необходимого уровня освещенности (яркости) на поверхности, а её распределение, то есть получившийся светотеневой рисунок.

Был проведен эксперимент по поиску оптимального варианта освещения бюста (рис. 1). Оценка качества разных вариантов освещения бюста выполнена на основе опроса 10 наблюдателей с использованием пятибалльной шкалы оценок (5 — лучший вариант). Наблюдателям была дана инструкция следующего содержания: какой вариант



**Рис. 1.** Бюст

подсветки бюста обеспечивает наилучший комфорт восприятия, формирует оптимальный образ и лучше всего передает выразительные черты скульптуры.

Наилучшее освещение получилось с использованием 2 прожекторов с глубокой КСС ( $56^\circ$ ), размещенных по обе стороны от бюста. Такое расположение создало равномерную подсветку лица и торса, дополненную мягкими и резкими тенями на глазах, щеках и шее, которые добавляют бюсту выразительность. Яркость лба, носа и подбородка —  $15 \text{ кд/м}^2$ , на щеках переход от 12 до  $6 \text{ кд/м}^2$ , на висках —  $7 \text{ кд/м}^2$ , на ушах —  $9 \text{ кд/м}^2$ , под носом —  $4 \text{ кд/м}^2$ , на веках —  $2 \text{ кд/м}^2$ . Два варианта получили наименьшую оценку: один из-за сильной разницы яркостей левой и правой части лица — левая часть хорошо освещена ( $15\text{--}20 \text{ кд/м}^2$ ), в то же время правая часть полностью находится в тени ( $0 \text{ кд/м}^2$ ) и имеет высокий контраст; второй вариант с равномерной засветкой всего лица ( $14\text{--}15 \text{ кд/м}^2$ ) и малым яркостным контрастом, близким к 0, не позволяет подчеркнуть черты лица, в результате чего оно теряет свою выразительность.

*К.Ж. Молдыбаева, О.Д. Ли, студенты;  
рук. С.М. Лебедкова, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ВЫСТАВОЧНЫХ ЭКСПОНАТОВ**

В настоящее время проектирование комфортной цветоцветовой среды выставочных залов проводят с учетом соответствующих требований. К ним относятся — создание акцентного освещения на выставочный элемент при минимальном соотношении яркостей 1:3 (яркость фона и яркость поверхности экспоната), наличие общего рассеянного света для ориентации в пространстве и создания комфортного зрительного восприятия экспоната. Освещение выставочных объектов необходимо осуществлять с учетом их назначения, формы, материала и его светостойкости, цветовых характеристик [1]. Освещение крупногабаритных скульптур высокой светостойкости ограничивается освещенностью 200–300 лк [1], а освещение экспонатов низкой светостойкости (например, масляной живописи) ограничивается в 100–150 лк [1] на поверхностях экспонатов.

В работе проведен светоаудит в выставочном помещении (коридор с постерами) по замерам освещенностей на поверхностях экспонатов, на полу, а также цилиндрической освещенности. Получены следующие результаты: средняя освещенность на полу составляет 235 лк, цилиндрическая освещенность 133 лк, средняя освещенность на поверхностях экспонатов 136 лк. Анализ результатов показывает, что в обследуемом помещении отсутствует акцентное освещение, завышена освещенность на полу, хорошая насыщенность помещения светом. Такой тип освещения не подходит для выставочных залов.

Проведено моделирование освещения выставочного помещения в программе DiaLux evo с тремя картинами, скульптурой. Коэффициенты отражения поверхностей помещения (0,5 для стен, 0,3 для пола и 0,7 для потолка). Предложенный вариант освещения позволил создать комфортную цветоцветовую среду со следующими параметрами: UGR 18, средняя освещенность на поверхности картин 113 лк (равномерность распределения освещенности 0,6), на поверхности скульптуры — 230 лк, на полу — 50 лк. Используемые световые приборы: светодиодные светильники с концентрированной КСС (для акцентного освещения), светодиодные светильники кососветы Wallwash (для освещения стен и создания отраженного света).

### **Литература**

1. МКО рекомендации по проектированию искусственного освещения музеев. М. 1992.



*Т.В. Благова, студ. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва);  
рук. И.Ш. Хасанов к.ф.-м.н. (НТЦ УП РАН, Москва)*

## **МЕТОД ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СУБТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Метод фантомных изображений (МФИ, ghost imaging) — метод получения изображения объекта как результат корреляции между пространственно модулированной интенсивностью падающего на объект света и интегральной интенсивностью отраженного (или прошедшего) света после объекта, зарегистрированного однопиксельным приёмником [1].

Изображения в субтерагерцовом (субТГц) диапазоне (0.1–1 ТГц) имеют применения для досмотрового контроля альтернативно рентгену как проникающее неионизирующее излучение [2]; в качестве средства неразрушающего контроля для композитных материалов; биомедицинские применения в качестве средства диагностики по содержанию воды в биологических тканях.

Предлагаемый метод имеет ряд преимуществ относительно классических методов получения изображений. Известно, что субТГц камеры из-за сильной дифракции ограничены оптикой, имеют крупный размер пикселя, большие габариты и малое общее число пикселей (например, субТГц камера Tera-4096 производителя Terasense (Россия) имеет разрешение 64 x 64 с размером пикселя 1.5 мм<sup>2</sup> габаритами 16.5 см x 16.5 см x 4.5 см). Использование однопиксельного приемника позволяет разрешить эти проблемы и повысить радиометрическую точность измерений. В отличие от растрового сканирования в МФИ мы почти сразу получаем изображение низкого качества и разрешения, а затем прогрессивно повышаем его качество и детализацию. А применение сжимающих алгоритмов (compressive ghost imaging) позволяет получить изображение за меньше число измерений, чем при растровом сканировании [3]. В докладе будут представлены полученные автором результаты моделирования и демонстрационного эксперимента, необходимые для работ по созданию субТГц фантомной камеры.

### **Литература**

1. **Blagova T.V., Khasanov I.Sh.** Contribution of wave aberrations represented by Zernike polynomials to the cross-correlation function between distorted and actual speckle patterns // J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publishing, 2021. Vol. 2091, № 1. P. 012009.
2. **Гареев Г.З., Лучинин В.В.** Применение ТГц-излучения для обеспечения жизнедеятельности человека // Биотехносфера. 2014. № 6 (36). С. 71–79.
3. **Xing C. et al.** Terahertz compressive imaging: understanding and improvement by a better strategy for data selection // Int. J. of Num. Modelling, 2021. Vol. 34, № 5. P. e2863.

*И.В. Сурков, М.А. Феник, студенты; В.А. Рыбина, ассистент;  
А.Н. Туркин, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

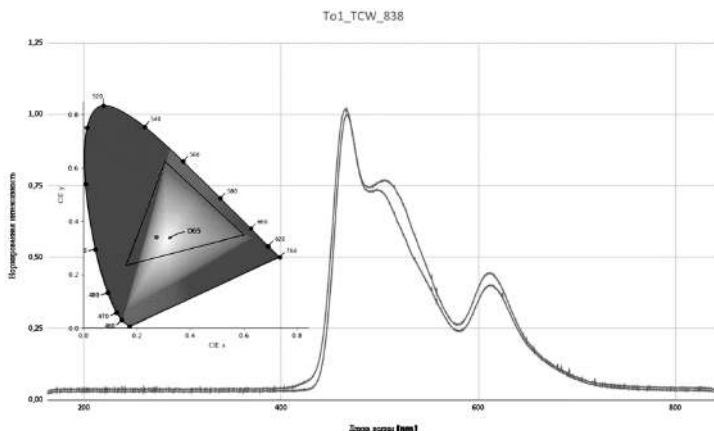
## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ OLED СТРУКТУР

Органические светодиоды (OLED — organic light emitting diode) представляют собой твердотельные источники света, изготовленные на основе органических полупроводников (OSC — organic semi conductors). За короткий промежуток времени они нашли свое широкое применение на рынке дисплеев для смартфонов и телевизоров. При производстве дисплеев для начала необходимо получить белое излучение, для его генерации используются два метода:

- Первый метод — преобразование длины волны с помощью люминофоров;
- И более распространенный второй метод — смешения излучения от нескольких излучающих слоев.

Суть метода в использовании трехслойной структуры, включающей в себя красный, зеленый и синий излучающие слои, при смешении которых можно добиться требуемого белого свечения.

По результатам работы были исследованы реальные спектры образцов органических светодиодов с одним излучающим слоем (красным, зеленым, синим), на основе которых в дальнейшем происходило моделирование спектров многослойных OLED структур белого излучения в специально разработанной программе (Рис. 1).



**Рис. 1.** Спектр образца TCW-838 (нижняя линия) и моделированный спектр (верхняя линия). Точка на локусе — координата цветности TCW-838

Проведение такого математического моделирования позволяет ускорить процесс оптимизации и разработки OLED структур при сокращении времени и затрат на проведение множественных технологических процессов.

*Я.С. Лебедева, студ.;*  
*рук. П.И. Лазаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ»)*

## **ЛАЗЕРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПЛЕНОК $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ И $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФОТОНИКЕ**

Халькогенидные материалы применяются для создания различных устройств интегральных элементов фотоники. Принцип работы данных устройств основан на изменении пропускания оптического сигнала, проходящего через используемый материал, за счёт изменения их оптических характеристик в результате лазерной кристаллизации. В данной работе были исследованы два состава халькогенидных материалов: наиболее распространенный фазопеременный материал  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  и перспективный для интегральной фотоники  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ , характеризующийся широкой областью прозрачности в ИК-диапазоне и высоким значением показателя преломления.

Аморфные слои  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  и  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  осаждены методом магнетронного распыления на стеклянные подложки. Толщина пленок определена методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и составляла 130 нм для  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  и 150 нм для  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ . Фотоиндуцированная кристаллизация аморфных пленок была реализована с помощью непрерывного лазера Toqus 532 ( $\lambda = 532$  нм), время облучения световым пучком составляло 100 мс. На оптических изображениях обнаружена модификация поверхности при мощностях облучения от 80 мВт для  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  и от 95 мВт для  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ . Также на оптических изображениях визуально заметна неоднородность распределения отражательной способности закристаллизованной поверхности в случае  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ , что не наблюдается в случае с  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ . Результаты АСМ показали, что  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  содержит кристаллиты большего размера на поверхности закристаллизованной области, чем у  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , что позволяет сделать вывод о том, что у селенида преобладает процесс роста кристаллитов, когда как у  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , при тех же режимах облучения — зародышеобразование.

Для исследования изменений оптических свойств материалов после кристаллизации использовалась спектрофотометрия, позволившая установить, что соединение  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  обладает большей оптической шириной запрещенной зоны в сравнении с  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  и меньшим поглощением в видимом и ИК-диапазоне длин волн, что при замене материала  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  на селенид может позволить снизить оптические потери в элементах интегральной фотоники и расширить спектральный диапазон возможного применения фазопеременных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-03-00379).

*Э.Т. Омаров, студ.; И.Т. Николаева асп.; В.А. Рыбина, ассистент.;  
рук. А.А. Григорьев, д.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **УМЕНЬШЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОРОГОВЫХ КОНТРАСТОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА**

Экспериментальные исследования по оптимизации методик исследования пороговых характеристик зрения проводятся с помощью аналоговых установок, в которых много элементов, что увеличивает погрешность измерений [1], и более простых в исполнении установок на базе персонального компьютера (ПК), также имеющих ряд недостатков, связанных с характеристиками мониторов. Основная погрешность при выводе изображения на экран монитора возникает из-за дискретного изменения яркости пикселей (8-битные мониторы содержат 256 градаций серого).

В ходе работы для уменьшения погрешности измерения контраста в Matlab была разработана программа, в которой реализован способ плавного изменения средней яркости изображения на величину меньшую одной градации: объект сначала полностью засвечивается на целое значение градаций серого, затем часть пикселей, число которых пропорционально дробной части (в градациях) яркости случайно разбрасывается по закону равномерной плотности [2] по площади объекта. Значения яркости этих пикселей больше или меньше (в зависимости от знака контраста) на одну градацию. Таким образом можно добиться значения средней яркости объекта не равной целому числу градаций яркости. Это позволяет изменять среднюю яркость объекта на величину много меньшую яркости одной градации и, как следствие, более плавно изменять его контраст.

Результаты 100 измерений для трех точек с градациями яркости 100, 101 и 100,5 показали, что отличие экспериментально полученных и заданных в программе значений яркости при дробном значении числа ее градаций во всех трех точках не превышают 1%, что много меньше погрешности визуальных экспериментов. Это доказывает работоспособность метода для моделирования изменения средней яркости объекта.

### **Литература**

1. **Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А.** Установка для экспериментальных исследований монохроматических порогов зрительной системы человека // Светотехника. — 2021. — № 4. — С. 5–11.
2. **Краммер Г.** Методы математической статистики. — М.: Мир, 1975. — 648 с.

*В.С. Серикова, студ.; В.А. Рыбина, ассистент;  
рук. А.А. Григорьев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ**

В настоящей работе было проведено расчетное исследование результатов этапа преобразования хроматической адаптации (САТ) в моделях восприятия цвета. Он заключается в переходе от трехстимульных значений стимула при одних условиях просмотра в соответствующие значения при других условиях.

Была разработана MATLAB программа, в которой сначала с помощью матриц преобразования происходил переход из колориметрической системы XYZ в систему LMS, а затем проводилось сравнение полученных кривых по положению максимумов и их полуширины. САТ матрицы сравнивались с физиологической моделью CIEPO06, которая рекомендована Международной комиссией по освещению для колориметрических расчетов.

**Таблица 1.** Результаты исследования

	von Kries		Bradford		CAT02		CAT16		CIEPO06	
	СМ, нм	ПШ, нм	СМ, нм	ПШ, нм	СМ, нм	ПШ, нм	СМ, нм	ПШ, нм	Макс., нм	ПШ, нм
L	-10	100	-30	110	-25	105	-15	100	565	95
M	-5	85	5	80	5	80	0	85	545	85
S	0	35	0	35	0	35	0	35	445	35

*Примечание:* СМ — сдвиг положения максимума кривой относительно CIEPO06, ПШ — полуширина кривой

Можно отметить, что для кривых L и M наблюдается значительное смещение максимумов по сравнению с CIEPO06, а для кривой L широко варьируется охватываемый диапазон длин волн.

Также в ходе исследования была выявлена недостоверность некоторых преобразований, так как в потенциальных реакциях колбочек появились отрицательные значения.

С точки зрения физиологии для учета хроматической адаптации следует рекомендовать матрицы перехода, которые получаются в процессе построения физиологических колориметрических пространств.

С.А. Лобастов, асп.; А.В. Анисимов, асп.;  
рук. И.Ш. Хасанов, с.н.с., к.ф.-м.н. (НТЦ УП РАН, Москва)

## КОНТРОЛЬ НАПЫЛЕНИЯ УЛЬТРАТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНОК RGB-КАМЕРОЙ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА

В докладе представлен способ контроля толщины напыляемой диэлектрической плёнки при ионно-лучевом напылении на трёх длинах волн. Контроль осуществляется при помощи угловых измерений коэффициента отражения при наблюдении поверхностного плазмонного резонанса от трёх источников света разной длины волны RGB-камерой. Наблюдаемые смещения положений минимумов отражения позволяют в реальном времени определять текущую толщину диэлектрического слоя. В настоящее время для контроля толщины напыления в реальном времени используются спектрофотометрические методы на пропускание, которые не обладают достаточной чувствительностью для определения толщин диэлектрических плёнок, значительно меньших длины волны падающего излучения. Предлагаемый способ контроля не требует использования спектрометра [1] и может быть полезен при изготовлении оптических покрытий: фильтров, металлических зеркал и зеркал с повышенной лучевой стойкостью. В докладе мы представим результаты моделирования, а также экспериментальную апробацию работы метода.

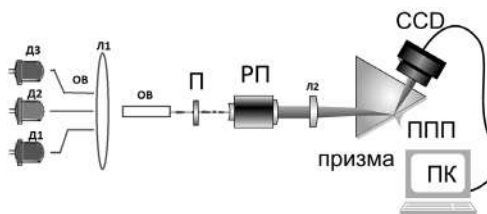


Рис. 1. Схема спектроскопии ППП: источники света светодиоды с длинами волн:

Д1 — 470 нм, Д2 — 525 нм, Д3 — 660 нм,  
ОВ — оптоволокна. Л1 — собирающая линза,  
РП — расширитель пучка 8х, П — поляризатор  
видимого диапазона, Л2 — линза plano-convex  
с фокусным расстоянием 50мм, призма НПВО  
с напылением на поворотной платформе,  
ССД — камера

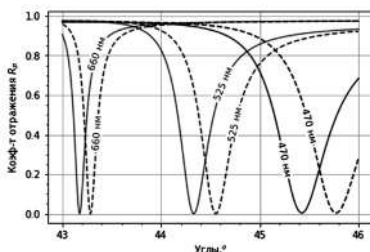


Рис. 2. Теоретические резонансные кривые для трёх длин волн для структуры призма ЛК-7/серебро 55 нм/диоксид кремния (сплошная линия — 0нм, пунктирная — 1 нм)

### Литература

1. Хасанов И.Ш., Анисимов А.В., Лобастов С.А. Оптическая характеристика диффузионных переходных слоёв в тонких пленках с помощью спектроскопии поверхностного плазмонного резонанса на основе АОПФ // Мат. конф. Сб. ст. в 3 ч. СПб: Ред.-изд. центр ГУАП, 2022. С. 141–145.

**Секция 9**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Industrial electronics**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Асташев Михаил Георгиевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Серегин Дмитрий Андреевич*

*А.В. Чернышов, А.В. Гудков, А.Э. Привалова, студ.;  
рук. М.И. Петров, к.т.н., доцент (НИУ «МАИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ НА БАЗЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА**

При разработке алгоритма управления импульсным источником питания (ИП) для заряда аккумуляторной батареи (АБ) возникают значительные сложности, связанные как с наличием неизвестной шумовой составляющей выходного напряжения ИП, так и со значительной погрешностью при оценке уровня заряда (УЗ) АБ. Шум от ИП приводит к ложным значениям управляющего сигнала, увеличивая колебания выходного напряжения ИП и тока заряда АБ, что негативно влияет на жизненный ресурс АБ. В свою очередь, точная оценка УЗ АБ, позволяет избежать перезаряда АБ, разряда сверх установленной нормы, а также возможных внутренних повреждений АБ.

Основными методами оценки УЗ АБ являются: кулонометрический метод (СС), измерение напряжения разомкнутой цепи (OCV) и интеллектуальные алгоритмы. Для устранения недостатков СС и OCV, заключающихся в наличии помех при измерении тока и напряжения АБ, применен фильтр Калмана (KF). Преимущество данного фильтра в том, что при наличии точной модели он позволяет добиться наилучшей сходимости результатов к наиболее близкому к реальному значению.

Применение KF также позволяет наиболее точно настроить управляющий сигнал ИП. В данном исследовании применен ПИД-регулятор, в качестве управляющего алгоритма, на выходе обратной связи которой используется отфильтрованный сигнал KF.

Стоит отметить, что стандартный KF не применим к нелинейным моделям, каковой является модель АБ, поэтому рассмотрен расширенный KF для нелинейных моделей.

Существуют три вида моделей АБ: электрохимические модели, модели нейронной сети и эквивалентные схемы замещения. Применена эквивалентная схема замещения АБ, т.к. не требует глубокого знания электрохимических процессов АБ, позволяя сделать её универсальной для ряда АБ, а также увеличивает производительность вычислений, что даёт возможность использования данного алгоритма в маломощных системах контроля и мониторинга.

Основными параметрами данной модели АБ являются УЗ, OCV, омическое сопротивление, сопротивление поляризации и поляризационная ёмкость. Определение параметров модели АБ выполняется согласно гибричному импульсному характеристическому тесту (HPPC).



*М.С. Павлова, В.Д. Громов, А.В. Бадалян, студенты;  
Д.В. Мостовой, асп.; рук. И.П. Воронин, д.т.н., асс.;  
Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ МОЩНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С УРОВНЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БОЛЕЕ 50 КВ

Вопрос создания стабильных источников высокого постоянного напряжения мощностью несколько десятков киловатт с жесткими требованиями к качеству стабилизации выходного напряжения в настоящее время нуждается в доработке. Непроработанность этого вопроса тормозит развитие многих перспективных отечественных промышленных технологий (электронно-лучевая сварка, лазерные установки) и техники, а также развитие техники в других областях — медицинская техника, радиопередающая и радиолокационная аппаратура [1].

При создании источника высокого постоянного напряжения мощностью несколько десятков киловатт с жесткими требованиями к качеству стабилизации выходного напряжения в настоящее время используются многоячейковые структуры. При этом возникает проблема передачи энергии и/или информации к выходной части ячеек с обеспечением эффективной изоляции.

В данной работе представлен перспективный подход к построению мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ с использованием токовой петли (рисунок 1). При таком подходе энергия передается с помощью трансформаторов тока, первичной обмоткой для которых является кабель с высоковольтной изоляцией. В кабеле с помощью инвертора (входной части) формируется переменный ток на повышенной частоте. Вторичные обмотки трансформаторов тока подключены к выпрямителям (выходной части), выходы которых в свою очередь соединяются последовательно. Исследование было выполнено в рамках проекта «Разработка и исследование подхода к построению мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ» при поддержке гранта для реализации научно-исследовательских программ «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. от НИУ «МЭИ».

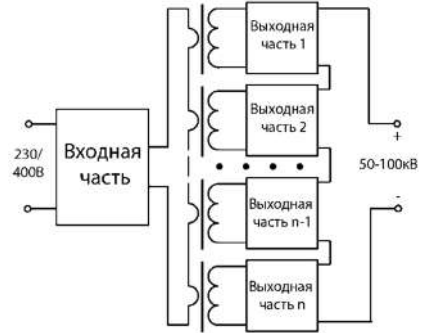


Рис. 1. Структура источника питания

### Литература

1. **Ланцов В., Владимиров Е.** Мощные высоковольтные источники питания часть 1. Силовая электроника. 2010. № 28. С. 64–70.

*Д.С. Рославцова, Р.Р. Ибрагимов, студенты;  
рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НА ОУ ДЛЯ СУ ККМ С ДРОССЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

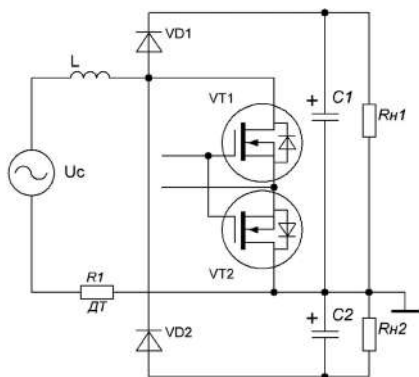


Рис. 1. Силовой каскад однофазного ККМ с ДПТ

Для работы контроллеров корректоров коэффициентов мощности (ККМ) необходимо формировать сигналы, пропорциональные выходному напряжению ККМ, форме входного напряжения сети, а также сигнал формы и уровня тока, потребляемого из сети. Все контроллеры ККМ рассчитаны на то, что сигнал о форме потребляемого тока будет формироваться относительно нулевого потенциала питания системы управления и будет иметь форму выпрямленного синусоидального сигнала с уровнем 10–500 мВ. В ККМ с дросселем переменного тока (рисунок 1) сигнал датчика тока имеет синусоидальную, а не выпрямленную форму, поэтому для применения

стандартного контроллера в ККМ с дросселем переменного тока необходим дополнительный блок выпрямления сигнала датчика тока.

В работе были рассмотрены топологии выпрямителей, построенные на операционных усилителях (рисунок 2), которые способны выпрямлять синусоидальный сигнал в рабочем диапазоне 10–500 мВ.

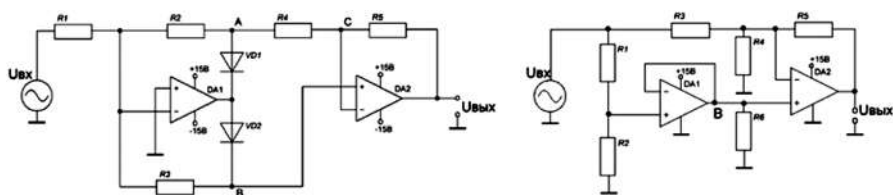


Рис. 2. Идеальные выпрямители, построенные на ОУ

В работе описаны процессы работы в схемах, выявлены достоинства и недостатки каждого схемотехнического решения, показаны результаты работы физического исполнения схем и представлены рекомендации для улучшения работы схем.

*М.С. Волонин, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ 2кВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ГАБАРИТОВ В 1U

Современные тенденции в развитии преобразовательной техники ставят перед инженерами непростую задачу, спроектировать высокоомощный преобразователь при конкретных массогабаритных параметрах. В данной работе рассмотрено построение 2кВт преобразователя, ограниченного в высоту одним юнитом (4,45 см).

Низковольтное напряжение питания, подаваемое на автономный инвертор напряжения (АИН), в первую очередь необходимо повысить. Поэтому схема АИН будет состоять из двух блоков: повышающего DC-DC преобразователя и самого DC-AC инвертора. Основной трудностью при проектировании DC-DC преобразователя высокой и средней мощности, является то, в таком случае придётся прибегнуть к трансформаторной схеме, что в свою очередь вносит трудности в проектирование в ограниченном пространстве.

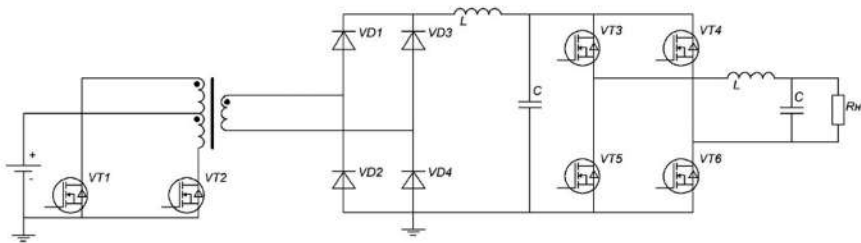


Рис. 1. Структурная схема силовой части АИН

Немаловажной чертой в мощных преобразователях, являются потери в полупроводниковых приборах. При этом проектировщику необходимо решать сразу две задачи, а именно общее снижение уровня потерь и отвод тепла от греющихся элементов. В работе приведён подбор компонентов с учётом массогабаритных параметров, выполнено проектирование трёхмерной модели реализуемого устройства. Также рассмотрены электромагнитные процессы в схеме, с учётом минимизации габаритов исходного устройства.

*В.А. Ионова, студ.; Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ В СОСТАВЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ: ВНУТРЕННЕЕ СОБСТВЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ**

В данной работе решается задача измерения и корректного учета при выборе компонента внутреннего собственного сопротивления конденсаторов (ESR).

Актуальность проблемы заключается в том, что данный параметр может оказать сильное влияние на работу как силовых фильтров, так и таких блоков системы управления, как: обратная связь в мультивибраторах, колебания в мультивибраторах в их нерабочем состоянии [1].

ESR — это сопротивление, возникающее в результате сочетания механизмов потери энергии при определенных условиях эксплуатации. Данный параметр оказывает непосредственное влияние на режим работы устройств, в состав которых входят конденсаторы, в частности, на режим работы статических преобразователей электроэнергии, в которых конденсаторы используются как элементы фильтров. Кроме того, не менее важно учитывать этот параметр при выборе конденсаторов времязадающих цепочек системы управления (элементов мультивибраторов, цепей защиты, цепей обратной связи и т.п.). Например, при расчете систем управления высокочастотными преобразователями с аналоговыми и цифроаналоговыми системами управления, систем управления корректорами коэффициента мощности (ККМ), в составлении обратной связи операционных усилителей т.п.

В России сложно, а в большинстве случаев практически невозможно, найти какую-либо документацию о влиянии внешних факторов на величину ESR.

Основная задача данной работы заключается в акцентировании внимания на проблеме наличия ESR. Рассматриваются способы его измерения и определения параметров модели — схемы замещения реального конденсатора [2]. И далее показано, как использовать полученные результаты при расчете узлов преобразователя: как при аналитическом расчете, так и при использовании численного схемотехнического моделирования.

### **Литература**

1. <https://passive-components.eu/why-low-esr-matters-in-capacitor-design/>
2. [https://tel-spb.ru/esr\\_t.html](https://tel-spb.ru/esr_t.html)

*И.В. Манухин, И.О. Косилов, студенты;  
рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ТОЧКИ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИХ МАССИВОВ

Задача фотогальванического массива, как источника питания заключается в преобразовании солнечного света в электрический сигнал постоянного напряжения. Однако, из-за быстро меняющихся погодных условий, мощность, генерируемая данным массивом, может быть нестабильна. Для регулирования мощности существуют различные способы поиска точки максимальной мощности (рисунок 1) на вольт-амперной характеристике и поддержание в ней фотогальванического массива длительное время.

Поиск и поддержание массива в данной точке является важным ещё и потому что КПД современных солнечных панелей не превышает 30%, поэтому использование солнечных панелей без схем поиска максимальной мощности делает данный источник электрической энергии слишком неэффективным.

В работе проведен анализ работы различных алгоритмов поиска точки максимальной мощности системы (МРРТ) и сравнение их по параметрам скорости и точности выхода в номинальный режим. Показаны плюсы и минусы различных методов, а также ограничение на область их применения.

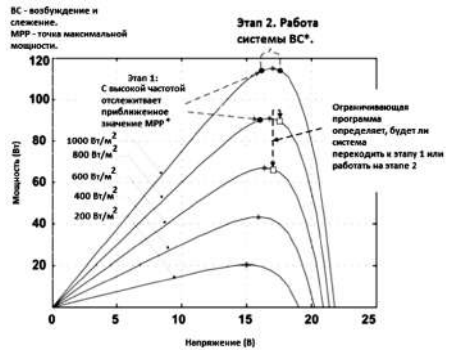
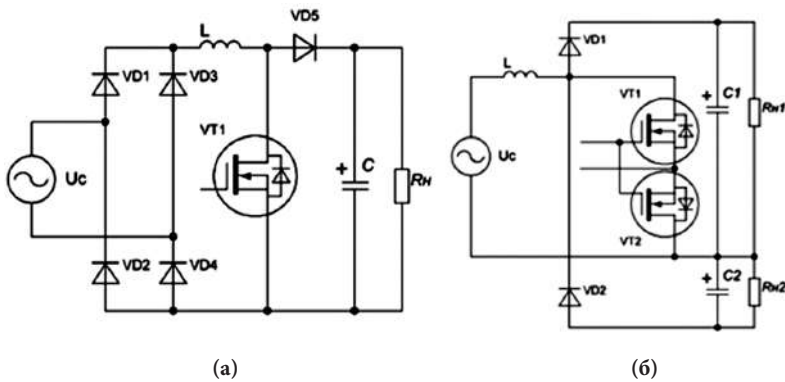


Рис. 1. Регулировочная характеристика ФГМ

*И.О. Косилов, И.В. Манухин, студенты;  
рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## СРАВНЕНИЕ ПОТЕРЬ В ДРОССЕЛЯХ ККМ ПРИ ПРОТЕКАНИИ ЧЕРЕЗ НИХ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ

Для формирования высокого коэффициента мощности источников питания используются корректоры коэффициента мощности (ККМ), которые можно разделить на два типа: однополярные и двухполярные. В зависимости от типа устройства (рисунок 1 а) через дроссель ККМ протекает выпрямленный ток сети, а во втором случае (рисунок 1 б) — переменный синусоидальный ток сети.



**Рис. 1.** Примеры расположения дросселя:  
(а) Дроссель постоянного тока, (б) Дроссель переменного тока

Существуют исследования, описывающие потери в полупроводниковых элементах ККМ (диоды и транзисторы), однако для определения коэффициента полезного действия устройства, необходимо учитывать выделение активной мощности и на дросселях. В зависимости от формы тока, протекающего через накопительный дроссель, параметры, влияющие на потери, могут меняться. Следовательно, в ККМ, где индуктивность работает на переменном токе, и, где она работает на постоянном токе, потери могут быть разными, даже при одной и той же мощности самих ККМ.

В работе представлены результаты исследования параметров схемы, влияющих на потери в индуктивностях ККМ, их зависимость от формы тока и показаны рекомендации по выбору наиболее энергоэффективного схемотехнического решения, для заданных условий работы ККМ. Имея полное представление о потерях во всех элементах цепи ККМ, можно выбирать схему таким образом, чтобы потери были минимальными в конкретном применении.

*В.А. Козлов, студ.; рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВОСЬМИКАНАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

На сегодняшний день работа некоторых устройств специального назначения зависит от источников питания, производимых за рубежом на импортной компонентной базе. Этот факт означает, что критические отрасли промышленности РФ могут оказаться под угрозой, поэтому возникает необходимость в разработке источника питания, производство которого позволит добиться частичной независимости Российской Федерации в области источников питания для устройств специального назначения. В частности, в данной работе рассмотрено проектирование восьмиканального источника постоянного напряжения мощностью 3,6 кВт с возможностью независимого регулирования выходного напряжения каждого канала в диапазоне 26–30 В с гальванической развязкой между всеми выходными каналами.

В данной работе приведены результаты компьютерного моделирования проектируемого преобразователя в среде Matlab Simulink, так как при анализе работоспособности устройства в различных режимах работы с помощью компьютерной модели можно определить, в каких частях электронной схемы могут возникать кратковременные скачки напряжения или тока, которые могут вывести из строя спроектированное устройство.

Одной из важнейших характеристик преобразователей специального назначения является термостабильность, что приводит к необходимости решить такие задачи, как минимизация потерь мощности в полупроводниковых и моточных компонентах, а также рассеивание выделяющегося тепла в воздухе, поэтому в данной работе приведены расчёты потерь мощности и расчёты размеров радиаторов охлаждения, обеспечивающих стабильную работу устройства.

В работе приведён выбор электронно-компонентной базы преобразователя, основанный на том, что важным критерием при выборе является возможность приобретения и поставки всех электронных компонентов, отвечающих требованиям по долговечности и надёжности, в условиях ограничительных санкций со стороны иностранных компаний-производителей.

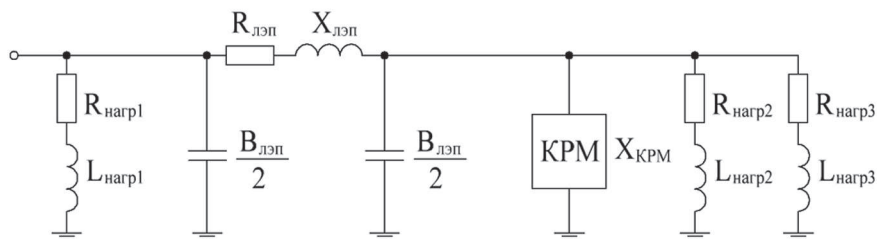
*А.Е. Баннов, Д.С. Кузенёв, Д.П. Хмелюк, студенты;  
рук. И.И. Журавлев (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Распределительные сети являются наиболее протяженными и распространенными видами электрических сетей. Одной из известных проблем распределительных сетей является высокая составляющая реактивной мощности. Наличие составляющей реактивной мощности в сетях уменьшает ее пропускную способность, что, в свою очередь, ухудшает КПД данной энергосистемы в целом. Данная проблема стоит особо остро на территории РФ ввиду недостаточной степени внедрения устройств компенсации реактивной мощности. Одной из причин недостаточной степени внедрения устройств компенсации реактивной мощности является либо высокая стоимость внедрения в сеть таких устройств, либо отсутствие на отечественном рынке достаточного предложения на данный класс устройств.

Одной из актуальных технологий построения компенсаторов реактивной мощности является технология компенсаторов реактивной мощности на основе регуляторов напряжения (КРМ). Достоинствами данной технологии является высокое быстродействие, широкий диапазон регулирования реактивной мощности (активно-адаптивная технология компенсации реактивной мощности в сетях), высокая дискретность, полное отсутствие генерации высших гармоник в сеть.

Целью данной работы является изучение эффекта внедрения КРМ на основе регуляторов переменного напряжения в распределительных сетях. В работе для решения данных задач была исследована эквивалентная схема замещения распределительной сети (Рис.1). Рассмотрены электромагнитные процессы КРМ на основе регулятора переменного напряжения, а также составлена модель, позволяющая исследовать электромагнитные процессы с применением компенсаторов на основе регуляторов переменного напряжения в распределительной сети.



**Рис. 1.** Рассматриваемая в работе упрощенная схема замещения распределительной сети



*Д.П. Хмелюк, А.Е. Баннов, И.Б. Яковлев, студенты;  
рук. И.И. Журавлев (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

На современном рынке электроприводов одним из наиболее популярных видов двигателей является асинхронные машины. Особенностью данных типов двигателей является простота в применении, высокая надежность и невысокая стоимость. При этом известно, что асинхронные двигатели могут генерировать более 60% всей реактивной мощности, питающей сети. Это явление негативно сказывается на других потребителях электрической сети, к которой подключены двигатели, генерирующие реактивную мощность. Данная особенность объясняется нелинейной зависимостью коэффициента мощности  $\cos\varphi$  от коэффициента нагрузки  $\beta$  (Рис. 1).

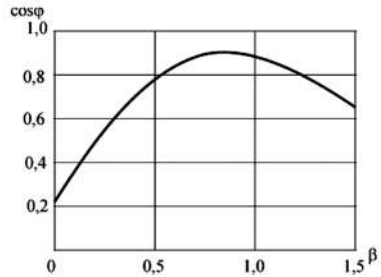


Рис. 1. Зависимость  $\cos\varphi$  от  $\beta$

Решить вышеописанную проблему возможно при помощи подключения компенсаторов реактивной мощности совместно с асинхронными двигателями. Одной из перспективных технологий является компенсатор реактивной мощности (КРМ) на основе управляемого трансформатора. Данное устройство, подключенное параллельно обмоткам статора двигателя, может генерировать реактивную мощность емкостного характера с отсутствием высших гармоник. Также стоит отметить наличие высокой дискретности регулирования мощности у рассматриваемого типа КРМ, что позволяет адаптироваться под различные режимы работы асинхронного двигателя, включая пуск.

В работе был исследован эффект от внедрения компенсатора реактивной мощности на основе управляемого трансформатора в сеть с различными потребителями и асинхронным двигателем. Проведен анализ электромагнитных процессов, возникающих во время совместной работы КРМ и асинхронного двигателя. Проведено имитационное моделирование работы асинхронного двигателя с подключением к компенсатору реактивной мощности.

*И.Б. Яковлев, Д.С. Кузнев, А.Е. Баннов, студенты;  
рук. И.И. Журавлев, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Асинхронные двигатели (АД) нашли свое применение в различных отраслях сельского и народного хозяйства. По статистическим данным до 70% всей энергии, преобразуемой в механическую поступательного или вращательного типа, преобразуют именно АД. Такое большое распространение они получили за конструктивную простоту и дешевизну по сравнению с другими видами преобразователей энергии [1].

Зачастую при расчете параметров АД возникает ряд трудностей ввиду большого числа переменных, необходимых для точного расчета величин токов, мощностей и момента [2]. В действительности при расчете многозвенных электрических схем, необходимо знать сопротивления узлов АД с эквивалентными величинами индуктивностей в них.

В работе разобраны способы нахождения сопротивлений двигателя для разных типов машин, таких, как серия 4А, где изготовитель указывает необходимые значения (1), и таких, как серия АИР, где не указаны необходимые значения для расчета сопротивления двигателя (2), и получены остальные параметры двигателя. Построены механическая, электромеханическая характеристики, а также зависимости переменных от скольжения двигателя. Построена модель в среде Simulink, получены временные зависимости, и с хорошей точностью подтверждены найденные значения в математической модели.

$$R_s = \frac{R_1 \cdot U_{ном}}{3 \cdot I_{ном}} \quad (1)$$

$$R_s = \frac{\left(\frac{3}{2} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{3}\right)^2 \cdot (1 - s_{ном})\right)}{c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{s_{ном}}\right) \cdot k_M \cdot \Delta P_{мех}} \quad (2)$$

где  $C_1$  — конструктивный коэффициент;  $k_M$  — коэффициент максимального момента;  $S_{ном}$  — номинальное скольжение.

### **Литература**

1. **Вольдек А.И.** Электрические машины — «Энергия», 1978.
2. **И.И. Алиев.** Асинхронные двигатели в трёхфазном и однофазном режиме издательство МЭИ.

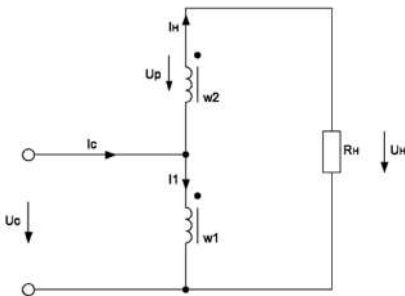
*И.Б. Яковлев, Д.С. Кузнев, Д.П. Хмелюк, студенты;  
рук. И.И. Журавлев, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПЛАВНОГО ПУСКА

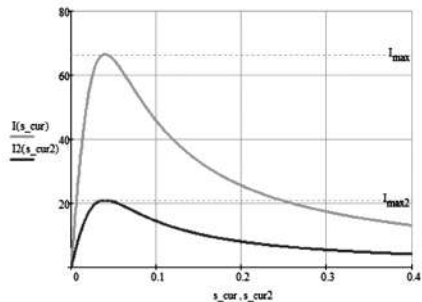
Асинхронные двигатели (АД) широко распространены в современном мире ввиду простоты конструкции и неприхотливости эксплуатационных условий. Однако у АД существует проблема в виде высоких пусковых токов, которые могут достигать 6–8 кратных значений по отношению к номинальному току. Данное явление оказывает такие негативные эффекты, как сокращение срока службы АД, возникновение фликера в питающей сети, ложное срабатывание релейной защиты по току. С целью ограничения величины пускового тока для асинхронных двигателей применяются устройства плавного пуска.

В работе рассматриваются устройства плавного пуска на основе регуляторов переменного синусоидального напряжения, один из вариантов такого регулятора представлен на рис. 1. Принцип работы таких устройств основан на ступенчатом регулировании напряжения, подаваемого на обмотки статора АД.

Данная статья посвящена изучению работы АД совместно с устройством плавного пуска. Для изучения электромагнитных процессов в ходе выполнения работы была разработана математическая модель АД с возможностью расчета эквивалентных сопротивлений для определения величины пускового тока в зависимости от величины прикладываемого напряжения рис. 2, а также для определения скорости нарастания тока в зависимости от времени.



**Рис. 1.** Схема устройства плавного пуска с встречным включением трансформатора и активной нагрузкой



**Рис. 2.** Ток АД при разных значениях напряжения

*А.Р. Родионов, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

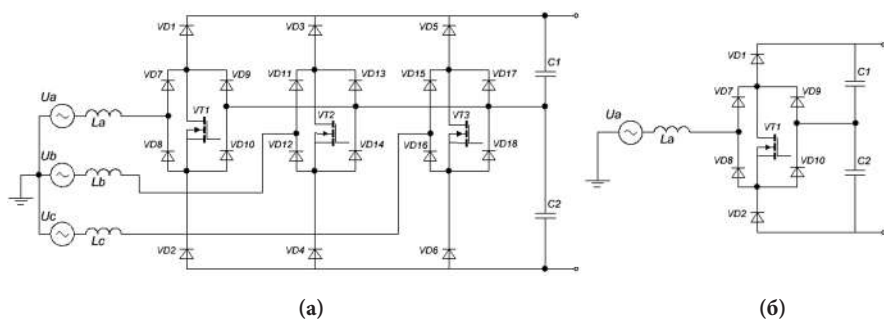
## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЕННА-ВЫПРЯМИТЕЛЯ В ОДНОФАЗНЫХ И ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ**

Виенна-выпрямитель с управлением методом широтно-импульсного модулирования используется в качестве АС-DC преобразователя и часто применяется в устройствах, требующих коррекции коэффициента мощности. Данный выпрямитель имеет ряд преимуществ, таких, как, например, меньшее напряжение, прикладываемое к полупроводниковым компонентам выпрямителя, и наличие контура протекания тока даже в случае ошибки управления, что снижает вероятность короткого замыкания.

Главной задачей любого устройства является выполнение возложенных на него задач с минимальными потерями. В этом случае речь ведется об эффективности использования схемы. При малой эффективности ставится под сомнение применение топологии в данных условиях. Поэтому для повышения коэффициента полезного действия требуется обладать полной информацией о том, в каких условиях предполагается применять устройство, поскольку это напрямую влияет на работоспособность.

Количество используемых в схеме компонентов также влияет на целесообразность выбора той или иной схемы в условиях массового производства. Это делает необходимым проведение комплексного анализа различных топологий с целью выявления их преимуществ и недостатков.

В работе проведен анализ работы виенна-выпрямителя при питании от однофазной (рис. 1 б) и трехфазной (рис. 1 а) стандартного напряжения 220/380В, выявлены преимущества и недостатки использования данной топологии в сравнении с другими схемотехническими решениями, а также предложены рекомендации по условиям применения исследуемых схемы.



**Рис. 1.** Исследуемые схемы исполнения: (а) трехфазного (б) однофазного

*Е.В. Гурьев, М.Н. Гольцов, В.А. Бочарова, студенты;  
рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ КОММУНИКАЦИОННОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НА РОССИЙСКОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЕ**

В настоящее время существует ряд устройств, которые могут использоваться в качестве коммуникационного контроллера для интеграции устройств энергетической электроники в цифровые электрические сети, например: ASUS Tinker Board, Репка Pi и т.д. Данные устройства представляют собой одноплатные компьютеры, поэтому оснащаются различными внешними интерфейсами и, в большинстве случаев, мощными процессорами, поэтому не обладают узкой специализацией. Однако согласно современным требованиям к устройствам, интегрируемым в цифровые электрические сети [1], они должны быть построены с использованием отечественной компонентной базы. Также, используемые одноплатные компьютеры не удовлетворяют требованиям по помехозащищенности, надежности питания, реализации удобных программных средств для организации передачи данных по протоколам МЭК 61850. Также, вследствие унификации одноплатных компьютеров для широкого спектра задач, они часто имеют завышенную стоимость, а их функционал при использовании в качестве устройств телеуправления не используется в полной мере.

Сейчас существует возможность разработки узкоспециализированного устройства для интеграции устройств энергетической электроники в цифровые электрические сети на российской компонентной базе. В качестве центрального микропроцессора может быть использован K5500BK018, разработанный НИИСИ РАН. Проведенный анализ НТД к устройствам телеуправления, позволил выделить минимальные технические требования к такому классу устройств. В соответствии с данными требованиями ведется разработка аппаратной части коммуникационного контроллера на отечественной компонентной базе, при этом базовым интерфейсом являются: Ethernet, GSM и GPIO — для передачи данных и телеуправления устройствами, а также USB port для питания. Должна быть реализована система стабилизации входного напряжения для питания коммуникационного контроллера.

### **Литература**

1. СТО 56947007 — 25.040.30.309-2020 — Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС».

*В.В. Кох, А.В. Бадалян, О.В. Дергачева, А.М. Стойнова, студенты;  
рук. А.Н. Рожков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

В настоящее время активно развивается рынок электромобилей, все больше компаний развивают направления разработки как самих электромобилей, так и электрических зарядных станций (ЭЗС) для них. Существуют зарядные станции двух типов, станции переменного тока и станции постоянного тока (быстрые зарядные станции). На данный момент разработкой отечественных ЭЗС занимается малое число предприятий [2], в результате чего данная отрасль остается слабо развитой, что существенно тормозит развитие отечественных аналогов ЭЗС.

Ключевым компонентом всех ЭЗС является система управления ЭЗС, общие требования к которым представлены в ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013 [1]. С целью развития отечественных разработок в области ЭЗС, в рамках данной работы будет проведен анализ структур систем управления ЭЗС переменного тока мощностью до 22 кВт. Одной из главных задач ЭЗС является обеспечение надежной и бесперебойной связи с электромобилей. В работе этому вопросу уделено особое внимание.

Система управления зарядными станциями должна выполнять следующие функции:

- Связь с электромобилем через контактор контрольного управления;
- Слежение за токами и напряжениями ЭЗС;
- Управление контактором прерывания цепи заряда;
- Защита от превышения электрических параметров и тепловых параметров;
- Индикация состояний ЭЗС;
- Определение аутентификации пользователей;
- Связь с внешним миром.

В рамках данной работы был проведен анализ структур существующих систем управления ЭЗС, предложена и описана собственная структура с учетом ее реализации на отечественной компонентной базе.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013.** Система токопроводящей зарядки электромобилей, часть 1 // 2014 г.
2. **ООО «Парус электро».** Универсальные зарядные станции для электротранспорта // 2020 г.

*О.В. Дергачева, А.В. Бадалян, В.Д. Громов,  
М.С. Павлова, студенты;  
рук. А.Н. Рожков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИММЕТРИРУЮЩЕЕ И КОМПЕНСИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ТИРИСТОРНО-ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ ГРУПП**

В настоящее время существует ряд проблем, связанных с качеством электрической энергии в электрических сетях, характеризующихся с одной стороны, несимметричными режимами работы сети, и с другой стороны, значительными уровнями реактивной мощности. Несимметрия трёхфазной системы возникает в силу наличия потребителей, осуществляющих несимметричное потребление мощности в сети, что приводит к увеличению потерь, а также ухудшению технико-экономических показателей работы сети [1]. Помимо этого, немаловажной проблемой качества энергоснабжения является нехватка реактивной мощности в электрических сетях, вызывающая чрезмерную нагрузку на сеть и понижение напряжения в сети. В отличие от активной мощности, реактивную мощность можно генерировать в компенсирующих устройствах без использования генераторов. Для компенсации реактивной мощности наиболее часто применяются установки с коммутацией ступеней-конденсаторных батарей, регулирующих подачу реактивной мощности, путём изменения суммарной ёмкости конденсаторной группы.

В современной силовой электронике широко распространены симметрирующие и компенсирующие устройства на механических ключах, недостатками которых является низкая скорость коммутации и зависимость от частоты переключения ступеней. В связи с этим целесообразнее использовать двунаправленные тиристорные ключи, с более быстрой скоростью переключения.

В рамках доклада будут продемонстрированы результаты анализа симметрирующего и компенсирующего устройства на базе конденсаторных батарей и тиристорно-переключаемых конденсаторных групп, отличающегося высоким быстродействием и способным обеспечивать одновременно и компенсацию реактивной мощности и симметрировать режимы работы по фазам электрической сети. При этом устройство обеспечивает максимально большое количество ступеней при заданном количестве конденсаторных групп, что позволяет реализовать практически плавное переключение и большой диапазон регулирования.

### **Литература**

1. **Идельчик В.И.** Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989, — 592 с.

*А.В. Бадалян, В.Д. Громов, М.С. Павлова, О.В. Дергачева,  
А.А. Архиреева, студенты; рук. Д.А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С МЯГКОЙ КОММУТАЦИЕЙ**

В настоящее время в связи с быстрым развитием электротранспорта растет потребность в быстрой передаче больших объемов электрической энергии на короткие расстояния, что требует от городов наличия развитой энергетической инфраструктуры [1]. Тем не менее это невозможно на некоторых территориях вследствие высокой степени урбанизации и наличия исторических застроек. Это заставляет разрабатывать новые схемотехнические решения, позволяющие использовать высокомошные зарядные станции, при этом без потерь в КПД и заметного увеличения массы и габаритов устройства.

Одним из способов сохранения высокого КПД и малых габаритов является применение высокочастотных резонансных преобразователей с наличием мягкой коммутации. Преимуществом данного преобразователя является возможность передачи электроэнергии в обоих направлениях. В случае потребления от сети мощности выше допустимого значения с помощью двунаправленного преобразователя к зарядной станции может быть подключен внешний накопитель, который будет использоваться как источник дополнительной энергии, а в то время, когда к сети подключена нагрузка малой мощности внешний источник начнет накапливать энергию. Работа резонансного преобразователя на высоких частотах по сравнению с простыми импульсными преобразователями позволит заметно уменьшить массу и габариты трансформатора, а также даст возможность не использовать индуктивный элемент в фильтре. КПД преобразователя растет за счет переключения полупроводниковых ключей в нуле напряжения, тем самым сводя потери на коммутациях практически к нулю [2].

Таким образом применяя двунаправленный преобразователь, можно эффективнее распределить электрическую энергию в устройстве, а также увеличить КПД и уменьшить массу и габариты устройства.

### **Литература**

1. **Vorobev K.A.** Bidirectional power converter system implementation in limited power grid. М.: ТМО University, Gdańsk University of Technology, 2020.
2. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.



*Д.Г. Лазутин, А.И. Гусаров, М.С. Павлова, В.Д. Громов,  
А.В. Бадалян, студенты; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АПРИОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА**

В настоящее время преобразовательная электроника развивается в направлении увеличения энергетической плотности, а также снижения массогабаритных показателей и величины потерь в устройствах. В большинстве случаев лимитирующим компонентом схемы являются индуктивные элементы. Трансформаторы и дроссели вносят большой вклад в массогабаритные показатели устройства.

Для некоторых топологических решений (прим. LLC — преобразователи) возможно использование индуктивностей намагничивания и рассеяния, заложенных в структуре трансформатора, для сокращения количества компонентов, используемых в схеме [1, 2]. Поскольку магнитные элементы являются одними из самых массивных и объёмных, уменьшение их количества приводит к существенному повышению энергетической плотности устройства.

Трудностью является априорный анализ структуры трансформатора, позволяющий определить необходимые величины данных параметров на этапе проектирования, а именно — заложить величину индуктивности рассеяния трансформатора за счёт выбора определённых методик при производстве.

В работе осуществляется разработка алгоритма, позволяющего получить параметры, по которым можно произвести трансформатор с заданными характеристиками. Приводится способ расчёта индуктивности рассеяния, намагничивания, массогабаритных параметров, величины потерь.

Результатом произведённой работы является программное обеспечение, позволяющее получать производственные данные, позволяющие создать трансформатор с выбранными значениями индуктивности намагничивания, индуктивности рассеяния с минимизацией массогабаритных показателей.

### **Литература**

1. **М.А. Bakar and K. Bertilsson**, “An improved modelling and construction of power transformer for controlled leakage inductance,” 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (E3EIC), 2016.
2. **Милловзоров В.П.** Электромагнитные устройства автоматики. — 4-е изд. — Москва: Высшая школа, 1983. — 408 с.

*В.А. Бочарова, Е.В. Гурьев, М.Н. Гольцов, студенты;  
рук. Р.Н. Красноперов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ КОММУНИКАЦИОННОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО МЭК-61850**

Высокий уровень автоматизации и интеллектуализации управления сетями предъявляет обязательные требования к устройствам, обеспечивающим информационную интеграцию разнородного оборудования и систем, отвечающих за надежность и безопасность электроснабжения, в реализуемые Центры управления сетями (ЦУС) [2]. Такие устройства — коммуникационные контроллеры должны обеспечивать: реализацию обмена данными, по различным проводным и беспроводным интерфейсам; конвертацию протоколов и алгоритмов работы для организации взаимодействия устройств разных производителей с ЦУС; возможность настройки качественных информационных моделей устройств силовой электроники, на основании которых реализуются алгоритмы управления; безопасность передачи данных на программном и аппаратном уровнях; помехоустойчивость и организацию надежного питания; преобразование аналоговых сигналов датчиков в цифровой код.

Согласно предлагаемой структуре, коммуникационный контроллер представляет собой шлюз, осуществляющий сквозной обмен данными между системами управления УСЭ и АСУ ТП согласно протоколам стандартов МЭК 60870-5-104 и МЭК 61850 [1]. В нем происходит преобразование данных, поступающих от УСЭ по проприетарным протоколам (protocol Client 1, 2, ..., N) в соответствующие заложенные в нем информационные модели УСЭ согласно стандартизированным протоколам.

Маршрутизация сообщений с протоколами для систем управления УСЭ осуществляется через физические интерфейсы (ф.и.), например, RS-485. Для взаимодействия с АСУ ТП через физические интерфейсы Ethernet / GSM используется программный продукт, поддерживающий внешние протоколы. Безопасный удаленный доступ к файлам журнала событий, логов данных и параметров осуществляется по SSH протоколам. Доступ к файлам журналов событий и базам данных, с возможностью их скачивания на внешние носители, осуществляется через USB port.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011** Сети и системы связи на подстанциях.
2. **Попова М.В., Струков А.Н., Козлов Е.А.**, Цифровая подстанция на базе стандарта МЭК 61850, Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2020. № 34 (39). С. 81–84.

*В.Д. Громов, А.В. Бадалян, М.С. Павлова, О.В. Дергачева, студенты;  
Д.В. Мостовой асп.; рук. И.П. Воронин, д.т.н., асс.;  
Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

В настоящее время высоковольтные преобразователи (зарядные устройства) пользуются все большим спросом, в частности для электромобилей. Для конечного пользователя возникает потребность в эффективной зарядке своего транспортного средства. Чтобы обеспечить быструю зарядку необходимо использовать постоянный ток большой мощности.

Наиболее распространены зарядные устройства в виде одномодульных преобразователей. Данные устройства имеют ограниченную выходную мощность и более сложное схемотехническое решение. Для решения проблемы предлагается простой, но эффективный способ, использовать две ячейки (модуля) преобразователя. При использовании двух ячеек существенно возрастает выходная мощность зарядного устройства [1]. Дополнительной особенностью преобразователя являются уменьшенные коммутационные потери, путем полного вывода из работы одной из ячеек, в зависимости от подключенной нагрузки.

В состав каждого из модулей, представленных на Рис. 1, входит мостовой инвертор напряжения и высокочастотный трансформатор (1), мостовой выпрямитель напряжения (2). Ячейки соединены между собой параллельно по входу и последовательно по выходу. Исследование было выполнено в рамках проекта «Разработка и исследование подхода к построению мощных

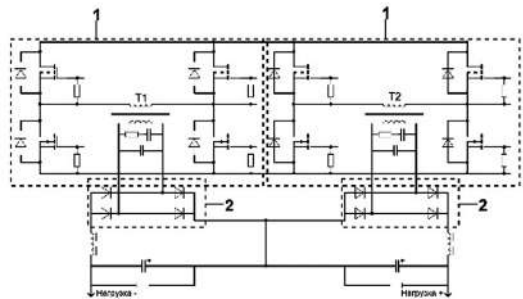


Рис. 1. Ячейки преобразователя

источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ» при поддержке гранта для реализации научно-исследовательских программ «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. от НИУ «МЭИ».

### Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.

*М.С. Павлова, В.Д. Громов, А.М. Стойнова, студенты;  
Д.В. Мостовой асп.; рук. И.П. Воронин, д.т.н., асс.;  
Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЯЧЕЙКОВЫХ СТРУКТУР МОЩНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

При разработке мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ применяют многоячейковые структуры преобразователей [1]. В частности, преимуществом многоячейковой структуры является простота разработки преобразователя на заданную мощность и напряжение нагрузки. Многоячейковые структуры могут питаться от многообмоточного трансформатора (рисунок 1а) или быть выполнены как самостоятельные законченные преобразователи (рисунок 1б), так же перспективным направлением является использование для передачи энергии токовой петли (рисунок 1в).

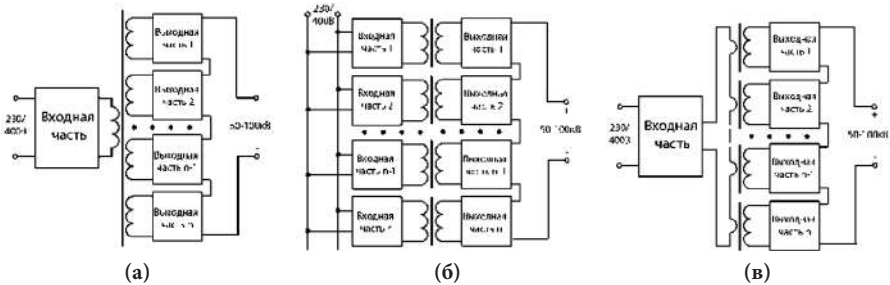


Рис. 1. Варианты построения многоячейковых структур

Так же при разработке высоковольтных источников питания большое внимание уделяется способам регулирования выходного напряжения (регулирования на стороне переменного напряжения и/или стороне выпрямленного напряжения) которые зависят от структуры источника.

В данной работе проведен сравнительный анализ структур используемых и перспективных топологий многоячейковых преобразователей применяемых для создания мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50кВ. Данный анализ позволил выделить решения, обеспечивающие сочетание указанных свойств: большой мощности, высокого выходного напряжения, точности стабилизации и массогабаритных показателей.

Исследование было выполнено в рамках проекта “Разработка и исследование подхода к построению мощных источников питания с уровнем выходного напряжения более 50 кВ” при поддержке гранта для реализации научно-исследовательских программ «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. от НИУ «МЭИ».

### Литература

1. Ланцов В., Владимиров Е. Мощные высоковольтные источники питания часть 2. Силовая электроника. 2011. № 5. С. 38–45.

А.А. Архиреева, А.В. Бадалян, В.Д. Громов, А.М. Стойнова;  
рук. П.А. Рашитов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С НЕСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННОЙ ПЕРВИЧНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

При проектировании источников вторичного электропитания входное напряжение может оказаться как ниже, так и выше требуемого выходного напряжения. В таком случае потребуются применение повышающе-понижающего преобразователя. Одним из эффективных схемотехнических решений является преобразователь с несимметричной нагруженной первичной индуктивностью (SEPIC) [1, 2].

Преобразователь SEPIC способен работать в непрерывном и прерывистом режимах работы и является преобразователем второго порядка. В его состав входят две индуктивности (рис. 1), каждая из которых может работать, как в прерывистом, так и в непрерывном режимах работы, что подразумевает наличие нескольких режимов работы. Необходимо разработать методы синтеза системы управления с учётом каждого из возможных режимов работы устройства для повышения срока эксплуатации устройства и снижения уровня импульсных помех.

В работе рассматриваются возможные методы синтеза системы управления преобразователем SEPIC с учетом режимов работы и применением дополнительных RLC цепочек.

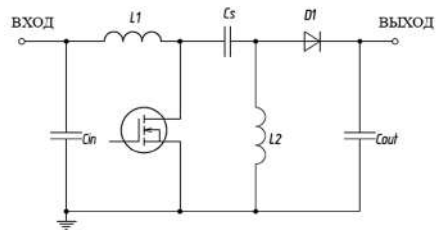


Рис. 1. Преобразователь с несимметричной нагруженной первичной индуктивностью (SEPIC)

### Литература

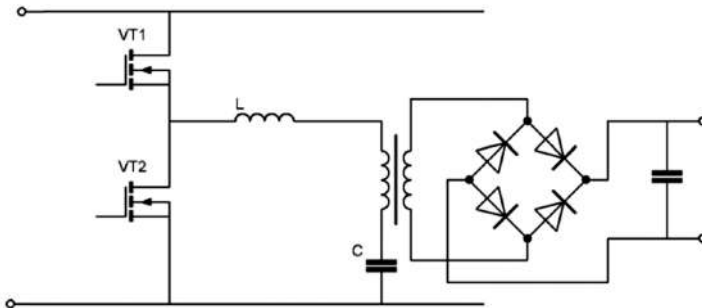
1. Севернс Р., Блум Г. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания
2. Application Note 1484 “Designing A SEPIC Converter”, National Semiconductor.

*Р.А. Устимкин, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРАМИ В РЕЗОНАНСНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С МАЛОЙ НАГРУЗКОЙ**

В настоящее время резко возросли требования, предъявляемые к преобразовательной технике. Уменьшение массогабаритных характеристикам, увеличение удельной мощности, повышение эффективности. Увеличение удельной мощности возможно путем повышения частоты преобразования, повышение эффективности за счет снижения статических или динамических потерь.

Благодаря возможности работы на высоких частотах и снижении потерь, за счет переключения при нулевом токе, резонансный преобразователь (рис. 1.) получил широкий интерес в свете данной тенденции и возможного потенциала этого преобразователя.



**Рис. 1.** Структурная схема силовой части резонансного преобразователя

Однако, помимо упомянутых достоинств, резонансный преобразователь имеет существенные недостатки. Одним из таких является управление преобразователем при малой нагрузке. В этом случае из-за частотно-импульсной модуляции (ЧИМ), вместо более распространённой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) приходится работать на частотах много больших частот номинального режима работы.

В данной работе проводится исследование управления резонансным преобразователем при малой нагрузке при помощи ЧИМ и ШИМ и формировании закона управления.

*А.М. Стойнова, В.В. Кох, О.В. Дергачева, студенты;  
Д.В. Мостовой, асп.; рук. П.А. Рашитов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОРОУТЕРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ КЛАССА 6 (10) КВ

Одним из средств развития инфраструктуры интеллектуальных электрических сетей с активно-адаптивным управлением являются энерго роутеры. Они позволяют управлять потоками мощности между двумя и более независимыми энергетическими комплексами. Существует необходимость обмена электроэнергией между различными классами напряжения и внутри одного класса напряжений: класс 0,4 кВ — класс 0,4 кВ, 6(10) кВ — 6(10) кВ и 6(10) кВ — 0,4 кВ. Наиболее распространенное техническое решение для реализации энерго роутеров для сети 0,4 кВ представлено на рисунке 1.

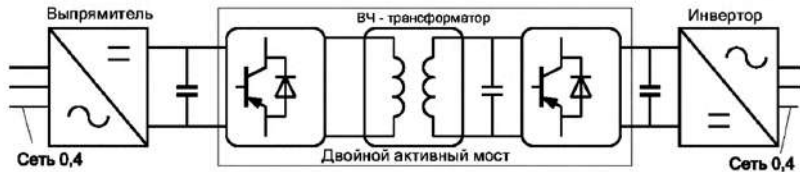


Рис. 1. Пример реализации энерго роутера с трансформатором

Применение в сетях класса 6(10) кВ представленного схмотехнического решения затруднено, вследствие ограничения по максимальному напряжению ключевых элементов не более 6 кВ [1]. Поэтому требуется разработать новое схмотехническое решение, отвечающее следующим критериям: реализация двунаправленного перетока мощности, стабильность управления потоками энергии при изменении количества энергетических комплексов, возможность применения к сетям класса 6(10) кВ.

Предложено техническое решение, удовлетворяющее всем вышеупомянутым критериям, основанное на следующих базовых топологиях: трехуровневый двунаправленный преобразователь и каскадный мостовой преобразователь (рисунок 2).



Рис. 2. Структурная схема энерго роутера на напряжение 6(10) кВ

### Литература

1. М.А Таранов, П.Т. Корчагин. Многоуровневые и каскадные инверторы // Вестник науки Дона, No. 21, 2013. pp. 63–66.

*С.С. Лавренов, студ.;*  
*рук. С.С. Закожурников, к.т.н. (РТУ МИРЭА, Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОРТИРОВКИ**

Развитие промышленности и повышение популярности конвейеров способствовало усложнению систем сортировки. На современных предприятиях применяют автоматизированные системы, не требующие участия человека. Для этого используют роботов-манипуляторов.

В данной работе были поставлены следующие задачи: выбор определенной модели робота-манипулятора для сортировки небольших объектов (в данной системе были использованы кубики разного цвета), датчика положения, цвета и температуры [1]; разработка схемы подключения датчиков, микроконтроллера Arduino и робота; разработка программ для робота и датчика; реализация системы сортировки с 3 датчиками на макете.

После сравнения 5 схожих моделей роботизированных манипуляторов, для решения поставленных задач был выбран Dobot Magician. В данной системе использован датчик диффузионного типа, так как ширина конвейерной ленты не превышает 20 см, а фон отличается по свойствам от обнаруживаемых объектов. ИК датчик MLX90614 температуры был применен из-за встроенной схемы преобразования уровня напряжения позволяющей подключаться к роботу через плату Arduino Mega 2560.

Было осуществлено присоединение MLX90614 с отличающимся интерфейсом работы к роботу-манипулятору через микроконтроллер, разработан алгоритм работы системы, программы для контроллера и Dobot Magician; разработана структурная схема системы, ее 3D-модель; реализована работа системы на макете.

Разработанная система может быть применена в пищевой, фармацевтической или мусороперерабатывающей промышленности. С её помощью можно сократить расход энергоресурсов на предприятии [2], повысить экономическую эффективность.

### **Литература**

1. **Лавренов С.С., Закожурников С.С.** Применение фотоэлектрических датчиков на производстве // Оптические технологии, материалы и системы: Сборник докладов Международной научно-технической конференции ИПТИП РТУ МИРЭА, Москва, 16–17 декабря 2021 года / Под редакцией А.С. Сигова. — Москва: МИРЭА — Российский технологический университет, 2022. — С. 206–209.
2. **Рафф О.И.** Уменьшение энергопотребления путём внедрения системы «умный дом» // Радиотехника, электротехника и энергетика: тезисы докладов Двадцать восьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 17–19 марта 2022 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью “Центр полиграфических услуг “РАДУГА”, 2022. — С. 98.



*Е.С. Елисеева, А.А. Архиреева, В.Д. Громов,  
А.В. Бадалян, студенты;  
рук. Д.А. Серегин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СВОДКА КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ**

В большинстве источников информации чаще всего предлагается одно устройство для уменьшения потерь — это активный корректор коэффициента мощности со схемой преобразователя II-рода. Он выигрывает по основным параметрам. Однако существует большое количество подобных схем, чьи характеристики могут лучше подходить для отдельной разработки. По этой причине имеет смысл создать набор сведений о всевозможных схмотехнических решениях для данной задачи.

Цель научной исследовательской работы — создать сводку критериев выбора существующих на рынке корректоров коэффициента мощности.

Исходя из цели работы, сформированы следующие задачи исследования:

- вывести общие закономерности и особенности проектирования схем [1];
- подчеркнуть сопутствующие проблемы и сложности разработки;
- провести обзор компонентной базы и дальнейший подбор самых подходящих параметров для нее [2], [4];
- смоделировать некоторые виды приведенных схмотехнических решений [3];
- на основе полученных данных вывести общие принципы для эффективного применения схем.

Полного набора сведений, включающего все возможные схмотехнические решения нет.

Данный анализ поможет разработчикам более четко понимать, что и как лучше применять при их индивидуальной задаче. А также даст полную актуальную информацию для научных деятелей, которые непосредственно стремятся создать более качественное устройство для уменьшения потерь электроэнергии.

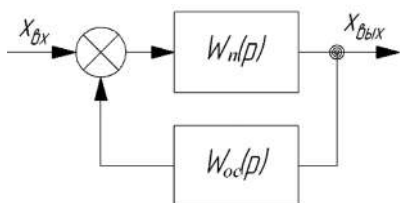
### **Литература**

1. **Овчинников Д.А.** Разработка и исследование однофазных корректоров коэффициента мощности: дис. канд. техн. наук: 05.09.12. — Моск. гос. университет, Москва, 2004. — 20 с.
2. **Чаплыгин Е.Е., Калугин Н.Г.** Теория мощности в силовой электронике, М. из-во МЭИ, 2006. — 56 с.
3. **Чаплыгин Е.Е.** Однофазные корректоры коэффициента мощности. М. из-во МЭИ, 2006. — 35 с.
4. **П. Хоровиц.** Искусство схмотехники. М.: Издательство БИНОМ. 2022. — 704 с., ил.

*Д.А. Кобликов, А.А. Архиреева, А.В. Бадалян, В.Д. Громов,  
М.С. Павлова, студенты; рук. Д.А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРА СО СЛЕЖЕНИЕМ ЗА ФОРМОЙ ВЫХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ

В настоящее время к инверторам напряжения предъявляют более жесткие требования по уменьшению потерь при переключении полупроводников, повышению качества выходного напряжения и повышению КПД, а также к снижению массы и габаритов инвертора и увеличению надежности конечного устройства.



**Рис. 1.** Схематичное изображение включения обратной связи

И это позволяет уменьшить потери на включение и выключение элемента.

В данной работе была рассмотрена система, модулем которой является система управления инвертором с обратной связью. Обратная связь позволяет получить лучшее качество выходного напряжения, тем самым уменьшаются потери на переключение полупроводниковых компонентов, что в свою очередь увеличивает КПД инвертора.

### Литература

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Издательство «Техносфера», 2005.
2. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. М.: Издательство «Техносфера», 2011.

*Д.К. Барманбек, В.Д. Громов, А.В. Бадалян,  
М.С. Павлова, студенты; рук. П.А. Рашитов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТРЕХФАЗНЫЙ МНОГОУРОВНЕВЫЙ ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

В технологии силовой электроники двунаправленные преобразователи мощности определяются как важные подсистемы при проектировании систем, в которых требуется регулировать поток энергии как в прямом, так и в обратном направлениях. С развитием инфраструктуры распределительных электрических сетей возникает потребность в трехфазных двунаправленных преобразователях для сетей различного класса напряжения: 0,4 кВ, 6 кВ, 10 кВ. Для сетей класса выше 6 кВ топологию такого преобразователя целесообразно выполнять по многоуровневой архитектуре. Одно из главных преимуществ многоуровневых преобразователей — отсутствие последовательного соединения ключей. К преимуществам также можно отнести и высокое качество выходного напряжения, достаточно маленький уровень электромагнитных помех и снижение общих потерь в тех или иных устройствах.

В данной работе будет рассматриваться в качестве примера применения трехфазный многоуровневый двунаправленный преобразователь. К перечисленным ранее преимуществам можно также отнести возможность подключения электроприборов достаточно высокой мощностью, получение на выходном напряжении более низкого коэффициента гармоник, а также более низкие пульсации по сравнению, например, с двухуровневыми преобразователями. Такие схемы также позволяют использовать низковольтные ключи при маленькой частоте коммутации, однако недостатками данных схем являются большое количество каналов управления.

### **Литература**

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Виноградов А.Б., Коротков А.А.** Алгоритмы управления высоковольтным многоуровневым преобразователем частоты. Иваново, 2018.
3. **Гельман М.В., Дудуин М.М., Преображенский К.А.** Преобразовательная техника. Челябинск, 2009.

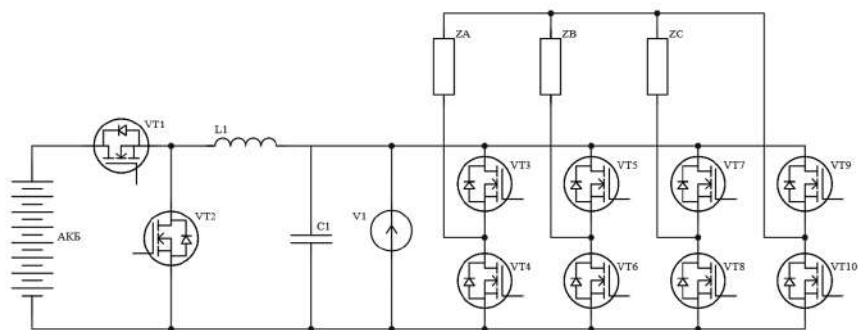
*А.А. Бадрутдинов, А.В. Бадалян, студенты;  
рук. М.Г. Асташев, д.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНЫМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АВТОНОМНЫМ ТРЕХФАЗНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ВЕТРЯНОЙ ЭНЕРГИИ**

Применение ветрогенераторов для обеспечения постоянного трехфазного питания [1] различных объектов, в том числе для отдаленных регионов накладывает следующие ограничения по причине модульной структуры:

- А) использование аккумуляторов по причине возможных просадок напряжения или отключения электроэнергии на срок около 3-х часов.
- Б) возможность работы параллельно сети нескольких преобразователей.

В работе рассматривается принципиальная схема (рис. 1.), подходящая для любого типа преобразователей со схожими условиями работы и проведены расчеты массогабаритных и энергетических показателей.



**Рис. 1.** Структурная схема одного модуля

Был написан код управления master контроллером и slave контроллерами [2].

Сделан вывод о необходимости разделения расчетных мощностей между несколькими микроконтроллерами по причине их комплексности.

Данный вывод был сформирован на основании результатов аналитических расчетов исходя из скорости тактирования средне бюджетных микроконтроллеров.

### **Литература**

1. **Коровин А.В.** Анализ и синтез автономной трехфазной системы электропитания с управлением кватернионом напряжений (2022).
2. **Белова И.А.** Фотоэлектрическая система генерирования на базе полупроводникового преобразователя с нейросетевой системой управления (2022).

*В.И. Малеев, А.И. Абсаттаров, А.А. Архиреева,  
В.Д. Громов, студенты;  
рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

В настоящее время все большее количество автовладельцев во всем мире готовы отдавать свое предпочтение электрическим транспортным средствам, вместо традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Такая тенденция обусловлена как минимум отсутствием вредных выбросов в атмосферу электромобилями и более высоким КПД их двигателей. Электродвигатели, в отличие от классических ДВС, для своего функционирования требуют зарядки аккумуляторов электрической энергией. В таком случае, с каждым годом все более остро встает вопрос разработки и технологической модернизации зарядных станций для электротранспорта.

Зарядка электромобиля может осуществляться как в домашних условиях от однофазной или трехфазной электрической сети, так и на специальных зарядных станциях. Наиболее быстрая зарядка обеспечивается зарядными станциями, имеющими повышенный выходной ток. Самые современные зарядные станции имеют мощность до 250 кВт·ч и способны обеспечивать запас хода в 1600 километров всего за 40 минут. Но быстрая зарядка имеет и свои недостатки: этот способ негативно влияет на емкость и время службы аккумуляторной батареи транспортного средства.

В данной работе проведен анализ зарядных станций быстрой и медленной зарядки, питающихся от трехфазных и однофазных электрических сетей. Рассмотрена классификация разъемов, применяющихся в разных странах для зарядки электротранспорта, проведено сравнение диапазона мощностей. Рассмотрены схемотехнические решения для различных вариантов зарядки, проанализированы их технико-экономические показатели. Был затронут вопрос управления зарядным оборудованием; рассмотрен протокол общения между зарядной станцией и электромобилем во время процесса зарядки аккумуляторной батареи.

*М.В. Сорокин, А.Р. Родионов, студ.; рук. М.И. Петров, доцент, НИУ «МАИ»; рук. Н.Г Калугин, Руководитель направления по научно-техническому развитию ООО «КВ-Системы»*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АНАЛОГОВОГО СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА**

В последние несколько лет обозначились проблемы с доступностью полупроводниковых компонентов. Это привело к тому, что на рынок стало поступать больше продукции, фактические параметры которой не соответствуют заявленным. Это приводит к тому, что устройство, в котором используется ненадежный элемент, станет работать не так, как задумано разработчиком, а в худшем случае может выйти из строя. Во избежание этого предусматривается проверка электронных компонентов на соответствие заявленным производителем характеристикам. Это подразумевает под собой снятие ряда различных характеристик. Однако, это из-за разнообразия компонентов в масштабах крупного производства накладывает существенную производственную и материальную нагрузку.

В связи с этим были внедрены многочисленные способы проверки компонентов, основанные на разнообразных методах анализа. К таким способам, например, относится использование модуля измерения источника (SMU), а также анализатора аналоговых сигнатур (ASA). SMU позволяет использовать устройство как источник постоянного тока и/или напряжения, так и измерять сигнал тестируемого компонента. С помощью SMU возможно взаимодействовать с различными характеристиками полупроводникового элемента, и после получения результатов делать выводы о применимости компонента в устройствах. Согласно методу ASA на выводы компонента относительно его общего потенциала подают синусоидальный сигнал. На основе синусоидального сигнала и вызванного им тока, протекающего между исследуемым выводом и общим потенциалом строят вольт-амперную характеристику импеданса данных выводов, называемой сигнатурой, сравнение которой с эталонной позволяет сделать вывод о пригодности исследуемого компонента.

Последний из упомянутых методов обладает рядом преимуществ. Для применения на практике нужен один испытательный стенд, состоящий из датчика тока и датчика напряжения и генератора синусоидального сигнала. Их можно проверять как отдельно, так и в уже собранной схеме, что существенно снижает брак готовой продукции, ускоряет процесс нахождения неисправных компонентов. Была поставлена задача в определении эффективности использования метода аналогового сигнатурного анализа в процессе реального производства.

*А.И. Абсаттаров, В.И. Малеев, А.А. Архиреева,  
В.Д. Громов, А.В. Бадалян, студенты;  
рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСТОЧНИКИ НАПРЯЖЕНИЯ**

В настоящее время, источники напряжения широко применяются во многих сферах жизни. Источники напряжения делятся по напряжению: высоковольтные и низковольтные, по частоте: высокочастотные и низкочастотные, по уровню выходной мощности. В настоящее время, необходимость в высокочастотных, высоковольтных источниках напряжения растет. Возьмем, к примеру, сферу медицины. Высокочастотные высоковольтные источники питания используются в рентгеновских аппаратах для питания рентгеновских трубок, которые, в частности, используются в компьютерных томографах.

В данной работе поднимается проблема создания таких источников. Для решения этой проблемы, используются мощные МОП-транзисторы в усилителях мощности. Распространенным методом достижения высокой мощности на высокой частоте в твердотельных усилителях является комбинация двух или более линейных усилителей мощности. Высокочастотный диапазон задается мощными драйверами затвора и мощными МОП-транзисторами.

Был проведен анализ схемотехнических решений существующих высоковольтных высокочастотных источников напряжения, сравнение возможных топологий построения таких источников.

*А.Э. Мельничук, Р.В. Лебедев, студенты;  
рук. А.Д. Лхамдондог (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Любое оборудование имеет срок службы, который может варьироваться в зависимости от условий эксплуатации. Существуют различные способы увеличения долговечности приводного электродвигателя, одним из которых является тиристорное устройство плавного пуска.

При прямом включении пусковые токи способны достигать 11–13 крат от номинального значения и во время увеличения частоты вращения технологического механизма — 5–8 крат [1]. Такие броски тока способны создавать сильные электродинамические усилия в обмотках электродвигателя. В результате длительной работы в таких условиях соединительные элементы могут прийти в негодность и создать аварийный режим.

Тиристорные устройства плавного пуска со звеном постоянного тока способны преобразовывать выходной сигнал в требуемые значения напряжения, частоты и тока. Силовые тиристорные модули могут работать с напряжениями до 15 кВ.

Устройство имеет инновационную функциональную возможность, а именно, переключение работы электродвигателя в режим рекуперации. С помощью данной опции, помимо увеличения срока службы, появляется возможность в экономии электроэнергии.

В результате исследования было определено, что применение тиристорных пусковых устройств повышает срок службы приводного электродвигателя и снижает вероятность возникновения аварии.

### **Литература**

1. **С. Сарбатова.** «Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе».



**Секция 10**  
**ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**  
**Electronics and nanoelectronics**

---

*Председатель секции: к.т.н. Зезин Денис Анатольевич*

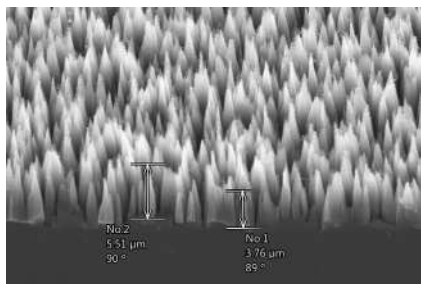
*Секретарь секции: к.т.н. Баринов Алексей Дмитриевич*

А.А. Гавриленя, асп.;  
рук. В.А. Воронцов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ, СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ, СТАБИЛЬНОСТЬЮ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Целью данной работы является разработка технологии изготовления газового сенсора при исследовании влияния поверхностной модификации тонкой пленки на его чувствительность, селективность, стабильность, энергопотребление и надежность.

Исследование заключается в определении влияния эффекта увеличения площади поверхности чувствительного слоя сенсора на его отклик на газы с окислительными и восстановительными свойствами.



**Рис. 1.** Фотография поверхности пластины, подвергнутой структурной модификации, полученная с помощью растрового электронного микроскопа

На рисунке приведено изображение поверхности черного кремния, сформированная путем обработки кремниевой подложки при отработанном технологическом режиме реактивного ионного травления. Анализ результатов показал, что полученная развитая поверхность имеет такие достоинства в сенсорной технике, как повышенная адгезия к чувствительным пленкам, увеличенная площадь поверхности и высокий коэффициент поглощения света.

Путем измерений температурных зависимостей сопротивления сенсоров с пленками состава  $\text{SnO}_x$ : Tb: Sb в присутствии чистого воздуха, влаги и изопропилового спирта зафиксировано влияние поверхностной модификации на работу прибора. Были определены существенные изменения чувствительности, а также энергии активации и скорости химической адсорбции, что является основой изготовления высококачественных датчиков для газового мониторинга.

### Литература

1. **Смирнов И.П., Козлов Д.В., Могучев А.В.** Микросистема терморегулирования малых космических аппаратов // Патент № RU 2725947 C1. — Москва, 2020 г.
2. **Henri Jansen, Meint de Boer, Rob Legrenberg, Miko Elwenspoek.** BSM 1: The black silicon method // ISSN 0960-1317, 1996 г.
3. **ri Jansen, Meint de Boer, Rob Legrenberg, Miko Elwenspoek.** BSM 1: The black silicon method // ISSN 0960-1317, 1996 г.

*К.С. Макарук, студ.:*  
*рук. И.Н. Мирошникова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛЕНОК ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

Тонкие поликристаллические слои халькогенидов свинца (PbS, PbSe, PbTe) обладают высокой чувствительностью в ИК-области спектра. Так при  $T=300$  К сульфид свинца чувствителен в спектральном диапазоне 1–3 мкм, а селенид свинца при длинах волн до 5,5 мкм [1].

Существуют различные технологии создания фоточувствительных слоев халькогенидов свинца, которые разделяются на две основные группы:

- низкотемпературные технологии, при которых фоточувствительный слой формируется в водных растворах при температуре, близкой к комнатной и при всех последующих технологических операциях не нагревается выше 400 К;
- высокотемпературные технологии, предусматривающие нагрев слоя, нанесенного различными методами (вакуумным напылением, осаждением из растворов) до температур 600 К (и выше) в воздушной среде [2].

Принципиально новым методом получения пленок халькогенидов свинца стал плазмохимический синтез из газовой фазы (PECVD). Плазменное инициирование позволяет использовать в качестве исходного вещества непосредственно высокочистые элементы (Pb, S, Se, Te, Cd, Zn). Новый метод требует исследование получаемых пленок и сравнение их характеристик с полученными ранее.

Работа посвящена исследованию морфологии поверхности плёнок в зависимости от технологии создания структуры.

### **Литература**

1. **Равич, Ю.И.** Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS [Текст] / Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов // М.: «Наука». — 1968. — 383 с.
2. **Мирошникова, И.Н.** Методы управления фотоэлектрическими параметрами фоторезисторов PbS / И.Н. Мирошникова, Б.Н. Мирошников // LAP LAMBERT Academic Publishing. — 2017. — ISBN 978–620–2–02930–8 — 11–13 с.

Т.С. Чуканова, асп.; рук. А.И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК ОТ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Кремний-углеродные плёнки обладают большей частью достоинств плёнок алмазоподобного углерода и лишены многих их недостатков, что позволяет широко применять их в различных областях техники от самолётостроения до электроники [1]. Это требует расширенных возможностей управления свойствами получаемых покрытий, так как плёнки представляют из себя некристаллический материал и методы подходящие для кристаллических веществ в данном случае неэффективны. Одним из методов управления свойствами аморфных материалов является изменение их структуры, с помощью изменения частоты аксиального электрического поля при осаждении покрытия. Обычно для получения кремний-углеродных плёнок используется высокочастотный метод плазмохимического разложения кремнийорганического прекурсора, однако в работах [2, 3] исследовались аморфные плёнки, которые были получены методами низкочастотного плазмохимического разложения. Это подтверждает зависимость структуры растущей плёнки от частоты электрического поля. В данной работе исследовалась зависимость электрических свойств кремний-углеродных плёнок от частоты аксиального поля.

Плёнки для исследования были получены методом плазмохимического разложения кремнийорганического вещества полифенилметилсилоксана (ПФМС) при разной частоте электрического поля от 0,1 МГц до 1,9 МГц. Как показали исследования проводимость образцов изменяется в пределах 5 порядков величины от  $1 \cdot 10^{-12} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  до  $5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и имеет немонотонный характер с максимумом в области 0,2–0,5 МГц. Так же проанализирована зависимость энергии активации проводимости плёнок от указанного параметра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант № 22-29-00864).

### Литература

1. **Anatoly Popov** Disordered Semiconductors Physics and Applications [Text] / Anatoly Popov. — 2018. — ISBN 978-981-4774-37-6
2. **Будаган Б.Г.**, Высоочастотное осаждение аморфного кремния / Шерченков А.А., Бердников А.Е., Черномордик В.Д. // Микроэлектроника. 2000. V29. P. 442.
3. **T. Yamaguchi, N. Sakamoto and H. Tagashira**, "Particle formation in SiOx film deposition by low frequency plasma enhanced chemical vapor deposition," Journal of Applied Physics, vol. 83, pp. 554–558, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.366722>

*С.В. Кирьянов, Н.О. Юркин, студенты;  
рук. С.В. Сидорова, к.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Одним из основных показателей приборов микро- и наноэлектроники является размер элементов. Однако, рабочая часть приборов и устройств должна выполнять свои функции даже с уменьшенными габаритами. Таким запросам отвечают островковые тонкие пленки и наноструктуры металлов. Они обладают рядом уникальных свойств, которые позволяют использовать их в различных электронных устройствах как отдельные слои, так и в комплексе [1].

Интерес научного и инженерного сообщества к островковым наноструктурам вызван особенностями электропроводимости таких покрытий, а их свойства напрямую зависят от метода формирования, температуры рабочей среды и подложки, этапа роста и прочих параметров процесса нанесения.

Целью работы является исследование процесса формирования островковых наноструктур металлов для последующего внедрения в элементы изделий микроэлектроники.

Формирование островковых слоев проводили на лабораторном стенде контроля роста тонкопленочных покрытий, в который входят: разработанная на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана вакуумная технологическая установка МВТУ-11; пикоамперметр для контроля проводимости в процессе формирования покрытия; источник питания. Исследования топологии полученных покрытий проводили на сканирующем электронном микроскопе.

В результате проведенных исследований установлено, что возможно формирование островковых наноразмерных слоев металлов методом термического испарения в вакууме с контролем проводимости в процессе формирования покрытий. Высота островковых наноструктур варьируется в диапазоне от 30 до 50 нм, латеральный размер достигает 100 нм.

В дальнейшем планируется исследование внедрения островковых наноразмерных структур в элементы магнитных датчиков (кобальт, никель) и мемристорных структур (медь) и получение тестовых образцов элементов изделий микроэлектроники.

### **Литература**

1. **Юркин Н.О., Кирьянов С.В.** Интегрирование несплошной тонкой пленки в мемристорную структуру // Перспективные материалы и высокоэффективные процессы обработки. 2022.

*А.А. Батин, студ.;  
рук. А.Е. Курносенко, доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИП (SMD) РЕЗИСТОРОВ**

На сегодняшний день при проектировании радиоэлектронной аппаратуры стремятся создать конструкцию, удовлетворяющую оптимальным соотношениям между заданными техническими характеристиками изделия, в том числе надежностью в заданных условиях эксплуатации, а также технологичностью. Например, ориентировочные расчеты, учитывающие влияние на надежность только количества и типов применяемых радиоэлектронных компонентов, проводятся на этапе эскизного проектирования. На этапе технического проекта расчеты проводятся на уровне ячейки с учетом реальных электрических и тепловых режимов работы [1].

Расчет надежности электронной аппаратуры выполняется по известным характеристикам надежности составляющих (электронных компонентов, печатных плат, паяных соединений, соединителей и пр.) с учетом условий эксплуатации.

От качества пайки компонентов на печатной плате напрямую зависят надежность и долговечность функционирования электронной аппаратуры. При этом, использование исключительно компонентов, монтируемых в отверстия, приводит к существенному увеличению габаритов устройства, в том числе вследствие невозможности использовать двусторонний монтаж. В отличие от монтажа в отверстия, поверхностный монтаж предполагает, что элементы монтируются непосредственно на поверхность платы. Это позволяет лучше автоматизировать техпроцесс сборки, а также сокращает пути передачи сигналов, увеличивая быстродействие и общую надежность устройства в целом.

В данной работе приводится сравнение параметров надежности печатных плат с элементной базой, монтируемой в отверстия и на поверхность, с учетом конструктивных особенностей построения таких модулей.

*М.Е. Шутов, студ.; рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ВОСЬМИРАЗРЯДНОГО БПФ НА БАЗЕ ПЛИС**

В цифровой обработке сигналов быстрое фурье-преобразование (БПФ) является наиболее фундаментальным и полезным функциональным блоком, доступным для проектировщика. Его реализация в программном виде (алгоритм) довольно проста, однако переход от программной реализации к аппаратной (цифровая логика) связан с некоторыми трудностями. Цель данной работы — реализация БПФ на ПЛИС, используя алгоритм CORDIC и упрощенные вычисления с плавающей точкой, и сравнение этих двух реализаций [1].

Разница двух реализаций заключается в разном аппаратном исполнении блока ВФУ (блок “бабочка”, англ. butterfly unit), отвечающему за основные арифметические преобразования в схеме. В остальном принцип схемы заключается в последовательном преобразовании пар чисел в соответствии с алгоритмом БПФ из одного блока памяти и записи в другой блок. После преобразования всех пар чисел из одного блока начинается преобразование данных из второго блока памяти и запись результатов в первый. Всего таких преобразований три, что соответствует трем уровням ВФУ, необходимым для вычисления восьмиточечного БПФ.

Процессом выборки данных из памяти занимается блок АГУ (блок генерации адреса, англ. address generation unit), который выставляет необходимые адреса для двух блоков ОЗУ и одного блока ПЗУ, необходимого для хранения так называемых коэффициентов поворота.

Под упрощенными вычислениями с плавающей точкой подразумевается разбиение комплексного числа на три блока — действительная часть, мнимая часть и показатель степени — и дальнейшие арифметические преобразования над ними. В последний записывается общая степень числа.

### **Литература**

1. Айчи́фер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-ое издание. Пер. с англ. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004.

*А.А. Афанасьев, асп.; рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НАПРЯЖЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК**

Алмазоподобные плёнки обладают высокой прочностью, твёрдостью, низким коэффициентом трения, а также высоким электрическим сопротивлением. Но при всех достоинствах имелся и ряд недостатков, вызываемых жёсткой атомной структурой алмаза. Решением стало внедрения в структурную сетку атомов кремния [2]. Это позволило работать над новыми методами управления их свойствами.

Технологические параметры изготовления плёнок имеют непосредственное влияние на их физические свойства. Исследовалось влияние прекурсора [1], давления аргона, рабочей температуры, внедрения атомов различных металлов в структурную сетку [2]. Но все предшествующие данной работе исследования производились на материалах, полученных при стандартной частоте высокочастотного генератора напряжения, подаваемого на подложку, равной 1.76 МГц. Таким образом целью данной работы является исследование зависимости и оценка эффективности управления электрофизическими параметрами плёнок посредством варьирования частоты подачи напряжения высокочастотным генератором на подложкодержатель в вакуумной камере при плазмохимическом разложении молекул кремнийорганического прекурсора полифенилметилсилоксана (ПФМС).

В докладе обсуждаются результаты исследования влияния частоты напыления на различные свойства синтезированных материалов. В частном случае затрагивается вопрос об электрофизических свойствах — электропроводности и энергии активации проводимости. Для анализа результатов будет использоваться информация о структуре плёнок, полученная методом рамановской спектроскопии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (грант № 22-29-00864).

### **Литература**

1. **Попов А.И., Баринов А.Д., Чуканова Т.С. и др.** — Влияние прекурсора на диэлектрические свойства алмазоподобных кремний-углеродных плёнок / Баринов А.Д. // НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, 2020, том 56, № 8, с. 1–10.
2. **Пресняков М.Ю.** Структура и термостабильность плёнок металлосодержащих кремний-углеродных нанокомпозитов: дис. К.т.н.: 01.04.10. М. 2014. — 168 с.



*П.А. Смирнов, студ.;*  
*рук. П.И. Лазаренко, к.т.н., доцент (НИУ “МИЭТ”, Зеленоград)*

## **ЛАЗЕРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТОНКИХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПЛЁНОК СОСТАВА $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$**

Материалы системы Ge-Sb-Te нашли широкое применение в устройствах памяти. Особыми перспективами материалы с фазовым переходом обладают для создания электрооптических элементов, метаповерхностей и устройств интегральных фотонных схем с перестраиваемыми характеристиками. Основной эффект фазовых материалов — переход из аморфного в кристаллическое состояние, чтобы этот переход произошел необходимо подобрать определенную мощность лазерного излучения [1]. Целью данной работы являлось определение необходимой для инициации процесса кристаллизации в аморфных тонких плёнках  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , инициируемых непрерывным лазерным излучением.

Аморфные плёнки  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  с толщиной 130 нм формировались с помощью магнетронного распыления поликристаллической мишени. Тонкая пленка формировалась на кремниевых подложках марки КДБ-12 (100) и на стеклянной подложке марки Corning Glass 1737F. В качестве источника излучения применялся лазер на основе кристалла  $\text{Nd}^{3+}$ : YAG с длиной волны 532 нм. Оптическая система состояла из двух зеркал, двойного ромба Френеля, оптического затвора и фокусирующей линзы. Образец помещался на моторизованный трансляционный столик, позволяющий осуществлять высокоточное позиционирование пленки относительно оси светового пучка. В процессе облучения менялись значения мощности лазерного излучения (30 мВт — 320 мВт) и времени экспозиции (50 мс, 100 мс, 150 мс, 500 мс, 1000 мс). Для исследования поверхности модифицированных плёнок использовался оптический микроскоп, а для определения химической природы модифицированных плёнок использовалась спектроскопия комбинационного рассеяния света.

В результате работы была определена мощность, необходимая для инициации процесса кристаллизации, была определена площадь закристаллизованной поверхности и отражающая способность закристаллизованной поверхности в зависимости от параметров лазерного воздействия.

### **Литература**

1. **S.Kozyukhin.** Isothermal and CW laser crystallization of amorphous  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  // Journal of Non — Crystalline Solids. 2018. Vol. 480. P. 51–61.

*Д.О. Кузовков, студ.;*  
*рук. П.И. Лазаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ»)*

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХАЛЬКОГЕНИДНОГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$**

В настоящее время существует множество типов энергонезависимой памяти с различными механизмами обработки данных. Среди многообразия вариантов устройств особое внимание заслуживает память с фазовым переходом (PCM), которая обладает рядом преимуществ: малое энергопотребление, оптимальное соотношение стоимости к производительности и др., что делает ее перспективным кандидатом для замены флэш-памяти и использования в высокоскоростных энергонезависимых устройствах хранения данных (Storage Class Memory).

Дальнейшее развитие PCM связано с повышением стабильности обратимых переключений между фазовыми состояниями вещества: аморфного и кристаллического. Одним из наиболее интересных материалов для PCM являются соединения трехкомпонентной системы Ge-Sb-Te. Для электрической инициализации переключений необходимо обладать информацией об электрофизических и энергетических параметрах тонких пленок GST в метастабильном аморфном состоянии. В связи с этим целью данной работы являлось исследование температурных зависимостей электрофизических характеристик тонких пленок  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ .

Осаждение тонких пленок  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  толщиной 130 нм и вольфрамовых электродов осуществлялось методом магнетронного распыления. В ходе исследования было выявлено, что ВАХ в диапазоне напряженностей электрического поля от 0 до 38 В/см демонстрируют линейный характер во всем исследуемом диапазоне температур (-20 до 100 °С). Согласно проведенной оценке из ВАХ температурной зависимости удельного сопротивления, энергия активации проводимости составила 0,35 эВ. Полученное значение энергии активации соответствует середине щели по подвижности ( $E_g = 0,76$  эВ), что позволяет судить о механизме переноса носителей заряда в пользу перемещений по делокализованным состояниям.

*М.А. Шустинский, асп.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Создание биочувствительных интегральных схем обеспечивает широкий спектр возможностей для развития химической и медицинской диагностики.

В данной работе в качестве биочувствительного элемента используется ионночувствительный полевой транзистор с иммобилизованным ферментом. Чувствительный элемент работает в режиме слабой инверсии, при этом ток в канале не превышает нескольких наноампер. Дополнительно для поддержания температурного оптимума работы фермента необходимо обеспечить термостатирование.

В качестве объекта исследования рассматривается матрица биосенсоров, изготовленных на одной подложке. Одновременное считывания элементов с матрицы биосенсоров является сложной задачей из-за паразитных эффектов, возникающих при переключении транзисторов и необходимости использования элементов с высокой частотой работы.

Для считывания сигнала элемент должен быть связан со схемой обработки через аналоговый интерфейс. Исследуются сигналы, получаемые с биочувствительных элементов при воздействии на их поверхность различных органических и неорганических растворов.

Полученные экспериментальные данные позволяют оценить требования к интерфейсу обработки сигналов и в перспективе создавать устройства с интегрированными биочувствительными элементами.

### **Литература**

1. Arkadiy Morgenshtein, Liby Sudakov-Boreysha, Uri Dinnar, Claudio G. Jakobson, Yael Nemirovsky. CMOS readout circuitry for ISFET microsystems // Elsevier, 2003.
2. Wen-Yaw Chung, Angelito A. Silverio, Vincent F.S. Tsai, Cheanyeh Cheng, Shu-Yu Chang, Zhou Ming-Ying, Chi-Ying Kao, Si-Yan Chen, Dorota G. Pijanowska, Dan Rustia, Yi-Wen Lo. An implementation of an electronic tongue system based on a multi-sensor potentiometric readout circuit with embedded calibration and temperature compensation // Elsevier, 2016.

*Е.В. Щетинина, студ. (НИУ «МЭИ», ИНМЭ РАН, г. Москва);  
М.А. Дрязгов, асп. (НИУ «ВШЭ», ИНМЭ РАН, г. Москва);  
Ю.П. Корнеева, А.А. Корнеев, соискатели (ИНМЭ РАН, г. Москва);  
рук. М.А. Тархов, к.ф.-м.н., с.н.с.  
(НИУ «МЭИ», ИНМЭ РАН, г. Москва)*

## **ТЕПЛОЙ НАГРЕВ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПОЛОСОК НАНОМЕТРОВОЙ ШИРИНЫ В ОДНОФОТОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРОТЕКАЮЩЕГО ТОКА**

Сверхпроводящий однофотонный детектор (superconducting single photon detector, SSPD) чувствителен к спектру излучения от рентгеновского до среднего инфракрасного (ИК) диапазонов [1]. Принцип его работы основан на локальном нарушении сверхпроводимости за счет поглощения фотона. SSPD сочетают в себе низкую скорость темного счета (ниже 1 Гц), частоту детектирования выше 1 ГГц [2] и высокую квантовую эффективность (99,5%) [1]. Они уже нашли применение в системах квантовой криптографии [3], оптической связи в дальнем космосе [4], времяпролетной спектроскопии [5] и других областях. Всё вышперечисленное говорит об актуальности темы и её интенсивном развитии.

В данной работе используется электротермическая модель сверхпроводящего детектора на основе нанометровых полосок NbN для получения временных характеристики однофотонного отклика. Модель основанна на решении двух дифференциальных уравнений, одно из которых описывает эволюцию горячего пятна, другое описывает изменение тока через сверхпроводящую полоску.

Были получены временные зависимости температуры и сопротивления нормального домена, образующегося в следствии поглощения фотона. Был получен импульс напряжения, принимаемый измерительным оборудованием. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

### **Литература**

1. **Chang, J.** et al. Detecting Single Photons with Superconducting Nanowires, Delft University of Technology, vol.101, 2021.
2. **Esmacil Z.I.** et al. Superconducting nanowire single-photon detectors: A perspective on evolution, state-of-the-art, future developments, and applications, Applied Physics Letters, 118, 2021.
3. **Takesue H.** et al. Quantum key distribution over a 40-dB channel loss using superconducting single-photon detectors, Nature Photonics 1, p. 343, 2007.
4. **Deutsch, L.J.** Towards deep space optical communications, Nature Astronomy. 4 (9): 907, 2020.
5. **Suzuki K.** et al. Ultrafast ion detection by superconducting nbn thin-film nanowire detectors for time-of-flight mass spectrometry, Physica C: Superconductivity, 468, 2008.

*Е.В. Свежинкин, асп.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ОБЛУЧЕНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРОМ**

Полупроводниковые тонкопленочные покрытия имеют широкий спектр применения в современной микроэлектронике и могут использоваться как активные, так и как защитные и диэлектрические слои. Морфология тонких полупроводниковых пленок определяется рядом физических и технологических факторов, при этом пленки получаются условно однородными. Введение неоднородности в полупроводниковых пленках таких как например интерфейс между аморфной и поликристаллической фазой часто приводит к возникновению новых эффектов.

Применение нано и фемтосекундных лазеров при обработке поверхности тонких пленок позволяет к примеру, создавать трехмерные микро-конструкции в фотополимерах. Такая технология получила название двухфотонная полимеризация. Подбирая параметры лазерного излучения можно, как испарять материал с поверхности, так и аморфизовать (рекристаллизовать) поверхность тонких полупроводниковых пленок без их физического распыления [2].

В работе исследуется возможность модификация пленки алмазоподобного нанокompозита под воздействием лазерного излучения [1]. Предполагается, что изменения структурных свойств будут сказываться на ее электрофизических, оптических и механических характеристиках.

### **Литература**

1. Femtosecond laser microstructuring of diamond-like nanocomposite films // E.V. Zavedeev, O.S. Zilova, A.D. Barinov, M.L. Shupegin, N.R. Arutyunyan, B. Jaeggi, B. Neuenschwander, S.M. Pimenov // Elsevier, 2017.
2. Фотоотверждаемая полимерная композиция на основе термостойкого ароматического полиамида для формирования оптических элементов методом двухфотонной полимеризации // Д.В. Ганин, Д.С. Дудов, Б.С. Шавкута, О.С. Коркунова, Б.Ч. Холхоев, П.С. Тимашев, В.Ф. Бурдуковский, Н.В. Минаев // Журнал технической физики, 2020.

*Л.А. Эль-Хадж, студ.;  
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ МИЭТ)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО РИСУНКА НА ФОТОРЕЗИСТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО КОМПЬЮТЕРНО-ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ФОТОШАБЛОНА**

Часто при исследовании электрофизических свойств новых перспективных материалов требуется создание тонкопленочных контактных систем к данным материалам. При отработке технологии формирования функциональных слоев контактных систем одним из наиболее важных, сложных и дорогих технологических этапов является процесс фотолитографии.

Серьезным сдерживающим фактором широкого внедрения литографических установок в повседневную научную практику являются дороговизна оборудования, ограниченный срок службы контактных фотошаблонов и их длительное производство.

Целью данной работы являлась отработка технологии формирования топологического рисунка пленочного термоэлектрического генератора с использованием разработанной установки фотолитографии на подложках из ситалла (СТ50) и полиимида с использованием пленочного фоторезиста.

В ходе работы была проведена отработка следующих технологических этапов: предварительная отмывка подложек в горячих растворах КАРО и ПАР; накатка пленочного фоторезиста; экспонирование; проявление и смывка фоторезиста; отмывка подложек с нанесенным и проявленным фоторезистом.

По результатам отработки технологии формирования топологического рисунка, был разработан технологический маршрут формирования топологического рисунка на подложках из ситалла СТ50, гибких полиимидных подложках. Были подобраны оптимальное расстояние между источником УФ-излучения и подложкой и время экспонирования при заданной мощности. Для проявления фоторезиста наиболее эффективным оказался метод распыления под давлением 0,9% масс. горячего раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . С использованием разработанного технологического маршрута были изготовлены тестовые образцы пленочных термоэлектрических модулей с вертикальным расположением термоэлектрических ветвей. Было показано, что при использовании пленочного фоторезиста, возможно формирование методом взрывной фотолитографии тонких пленок металлов, полупроводников и многослойных структур на их основе с толщиной слоя более 2 мкм. Минимальный размер элементов, полученный на установке — 50 мкм.

*Т.Д. Пацаев, Е.В. Ястремский, аспиранты; рук. А.Л. Васильев, к.ф.-м.н., доц. (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

## **УСТАНОВКА ДЛЯ IN SITU МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ В РЭМ**

Определение физико-механических свойств материалов — важная составляющая разработки изделий практически во всех сферах науки и техники. В частности, такие исследования необходимы при разработке полимерных матриц — основы для формирования искусственных органов и тканей, на которые высаживают культуры клеток [1].

Для проверки механических свойств материалов используются испытательные (в том числе разрывные) установки, которые предназначены для измерений зависимости напряжения в материале от деформации, что позволяет определить параметры упругости материала, исследовать процессы ползучести и релаксации, влияющие на его прочность и микроструктурные свойства [2, 3].

Была разработана и создана установка для проведения механических испытаний *in situ* в камере растрового электронного микроскопа (РЭМ) с возможностью использования режима естественной среды (ЕРЭМ), который позволяет изучать различные биологические объекты, в частности клетки и ткани, а также любые непроводящие образцы без напыления дополнительных проводящих покрытий на их поверхность, таким образом сохраняя её естественную микроструктуру.

Конструктивные особенности установки позволяют использовать модульные зажимы для проведения испытаний образцов широкого диапазона формы и размеров. В процессе эксперимента возможно получение изображений поверхности образца с разрешением до 10 нм в режимах высокого вакуума и режиме естественной среды.

### **Литература**

1. **Teoh G.Z. et al.** in development of artificial organs // *Minerva medica.* — 2015. — V. 106. — P. 17–33.
2. **Har-Shai Y. et al.** Mechanical properties and microstructure of the superficial musculoaponeurotic system // *Plastic and reconstructive surgery.* — 1996. — V. 98. — N. 1. — P. 59–70; discussion 71.
3. **Ventre M., Mollica F., Netti P.A.** The effect of composition and microstructure on the viscoelastic properties of dermis // *Journal of biomechanics.* — 2009. — V. 42. — N. 4. — P. 430–435.

**Секция 11**  
**БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**  
**Biomedical Electronics**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Крамм Михаил Николаевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Стрелков Николай Олегович*



*А.А. Дергачев, Е.Н. Голубева, студенты;  
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Электростимулятор нервно-мышечной активности в лабораториях медицинских ВУЗов стал распространённым и необходимым прибором. С начала 60-х годов прошлого века он используется для изучения возбудимых тканей. Классическим объектом исследования является нервно-мышечный препарат лягушки. Разработанный стимулятор предназначен для местного и импульсного возбуждения на нервную и мышечную ткань [1]. В работе [2] представлен прототип такого устройства. Данная работа является продолжением и усовершенствованием этого устройства.

Натурные эксперименты можно проводить дистанционно, управление стимулятором с мобильного устройства, поэтому применение концепции IoT в данной задаче является целесообразным.

Оснащение прототипа [2] системой интернета вещей выводит устройство на новый уровень современного информационного общества.

Для интеграции в IoT было разработано программное обеспечение в виде нативного приложения под мобильную операционную систему Android, рис. 1. Приложение обладает интуитивно понятным интерфейсом, обеспечивающим удобное взаимодействие пользователя с электростимулятором. В качестве приёмного устройства со стороны электростимулятора выступает Wi-Fi модуль ESP8266. Исполнительной частью устройства является функциональный генератор (ФГ), построенный на ЦАП с разрешением 12 бит и микроконтроллера Atmega168. Для передачи данных между ESP8266 и ФГ используется интерфейс UART.

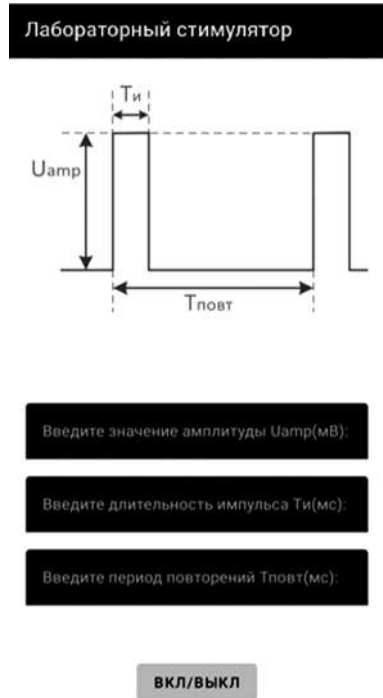


Рис. 1. Главная страница приложения

### Литература

1. Д.П. Билибин, К.Т. Ветчинкина и др. ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИОЛОГИИ // Москва. 1970.
2. А.А. Дергачев, Е.Н. Голубева, Разработка и создание стимулятора с расширенным функционалом для изучения возбудимых тканей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов XXVIII МНТК, 2022. — С. 128.

П.Б. Гамалиенко, студ.;  
рук. Я.А. Куприянова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАЗБИЕНИЯ ЭКГ-СИГНАЛА НА ЗУБЦЫ И ИНТЕРВАЛЫ

Медицина и биотехнологии усовершенствуются с каждым годом, улучшая качество и продолжительность жизни человека. Основной проблемой на сегодняшний день являются сердечно-сосудистые заболевания, которые становятся самой распространенной причиной смерти и инвалидности населения.

Для повышения информативности и чувствительности диагностики ранних нарушения работы сердца применяется обратная задача ЭКГ. В данной работе используется алгебраический алгоритм реконструкции. Важным параметром алгоритма является коэффициент регуляризации. Результаты исследования алгебраического алгоритма показали, что оптимальное значение коэффициента регуляризации зависит от величины отношения сигнал/шум, а также от особенностей

распределения эквивалентного токового источника в различные моменты времени кардиоцикла [1].

В данный момент разработан и реализован алгоритм автоматического разбиения кардиоцикла на зубцы и интервалы, основанный на анализе нормированного графика мгновенной нормы многоэлектродных ЭКГ-сигналов. Результаты работы алгоритма представлены на рисунке 1.

Также разработанный алгоритм позволяет определить значения отношения сигнал/шум для каждого момента времени кардиоцикла, что позволит, в дальнейшем, автоматизировать выбор коэффициента регуляризации.

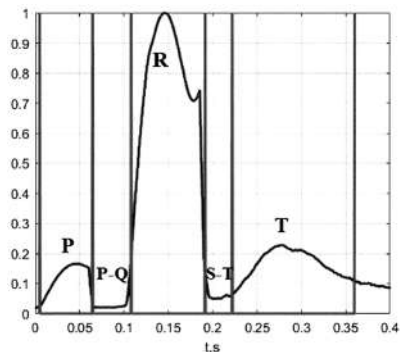


Рис. 1. Результат определения интервалов и зубцов по норме ЭКГ-сигналов

### Литература

1. Куприянова Я.А., Жихарева Г.В., Мишенина Т.Б., Куропаткин С.А. Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии // ФРЭМЭ'2020. Тр. XIV Междунар. научн. конф. Владимир: ВлГУ, 2020. С. 123–127.

П.М. Жучкова, студ.; рук. Я.А. Куприянова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭКГ-СИГНАЛОВ

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) широко распространенное заболевание. Диагностика таких заболеваний должна быть своевременной, максимально точной и полной. Это возможно с помощью разработки и внедрения алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии. Для повышения чувствительности алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии актуально выделение высокочастотных низкоамплитудных (ВЧ НА) составляющих ЭКГ-сигналов.

В работе проведено исследование эффективности полосового фильтра Баттерворта с нижними частотами 25 и 40 Гц для выделения ВЧ НА составляющих многоэлектродных ЭКГ-сигналов [1]. Эффективность оценивалась по норме разности мгновенных норм ВЧ НА составляющих карт наружных потенциалов (КНП), рассчитанных по модели электрической активности сердца при отсутствии и наличии патологических изменений миокарда [2]. Также было рассмотрено влияние порядка фильтра на форму его АЧХ и значения мгновенных норм КНП.

Результаты исследования представлены в таблице. Рассмотрены четыре основных вида локализации патологических изменений при ИБС: 1 — переднеперегородочный, 2 — переднебоковой, 3 — заднедиафрагмальный (нижний), 4 — заднебазальный. Размер патологической области ( $d$ ) варьировался от 1 до 3 см.

### Норма разности мгновенных норм при различных нижних частотах фильтра

Вид	Значения нормы, мВ											
	1			2			3			4		
$d$ , см	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
25 Гц	6,4	11,4	12,1	1,9	4,3	3,9	1,4	3,1	3,0	0,9	1,7	2,6
40 Гц	5,2	7,9	8,4	2,3	2,8	2,6	1,7	2,2	2,0	1,1	1,7	2,1

Результатом работы является выбор фильтра Баттерворта 12 порядка с полосой пропускания [25; 240] Гц. Данное решение обусловлено максимальной разностью ВЧ НА составляющих КНП при наличии и отсутствии патологических изменений на поверхности миокарда.

### Литература

1. Куприянова Я.А. Выделение высокочастотных низкоамплитудных составляющих электрокардиографических карт наружных потенциалов // Матер. НТК «Микроэлектроника и информатика — 2018»: сборник статей. С. 118–123.
2. Жихарева Г.В., Куприянова Я.А. и др. Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения: матер. III Всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. участием. М.: РУДН, 2020. С. 87–89.

*Д.И. Тронин, студ., И.В. Андреев, асп.;  
рук. Г.В. Жихарева к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

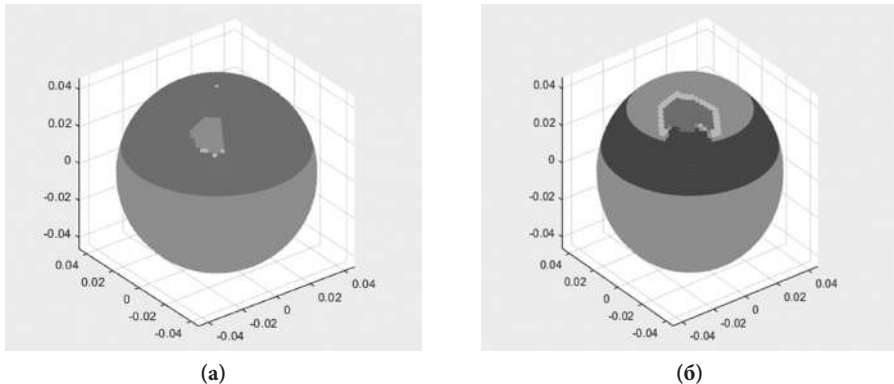
## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТАРСИСТОЛИИ НА ОСНОВЕ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Моделирование экстрасистолии проводящей системы сердца на основе клеточных автоматов позволяет рассмотреть процесс распространения волн возбуждения при наличии поражений тканей миокарда, таких как некроз и ишемия [1].

Целью настоящей работы является моделирование динамики возбуждения при экстрасистолии сердца.

Экстрасистолия моделируется на основе механизма повторного входа волны возбуждения (re-entry), вызывающей внеочередное сокращение сердечной мышцы [2]. Связанно это с односторонней проводимостью и замедленным проведением импульса поражённых тканей миокарда. Распространение автоволны по проводящей системе сердца моделируется с помощью смены состояний клеточных автоматов.

Данная модель позволяет визуализировать в динамике конкретный патологический процесс протекающей в миокарде (рисунок 1), а также построить электрокардиограмму в зависимости от локализации поражённых тканей.



**Рис. 1.** Распространение возбуждения при экстрасистолии сердца:  
(а) заданная ишемическая область с замедленным проведением импульса,  
(б) показан повторный вход волны возбуждения

### Литература

1. Жихарева Г.В., Куприянова Я.А., Батенин В.В., Изюмцев Д.О. Математическое моделирование электрической активности миокарда // Агаджанянские чтения = Aghajanian's reading: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. М.: РУДН, 2020.
2. Мурашко В.В., Струтынский А.В. Электрокардиография. М.: МЕДпресс, 1998.

*Ю.В. Булгакова, Ю.С. Пуликова, студенты;  
рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.  
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **ФАНТОМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НАВЫКАМ ПУНКЦИИ СОСУДОВ ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КОНТРОЛЕМ**

Ультразвуковая диагностика считается одним из наиболее безопасных методов исследования и широко применяется в анестезиологии. В 59% симуляционных центров России имеется оборудование для выполнения манипуляций и проведения обследования с применением ультразвуковых технологий. Обучение медиков катетеризации вен на фантомах проводится в 75% центров, а под контролем ультразвука — в 38% центров [1]. Фантом сосудов необходим для отработки навыков ультразвукового исследования в доплеровских режимах [2–4], а также при обучении технике выполнения внутрисосудистых инъекций и катетеризации под ультразвуковым контролем. Целью работы является разработка фантома с сосудами для обучения врачей ультразвуковой диагностики.

Разработанный прототип фантома представляет собой модель, содержащую тканеимитирующий материал, через который на глубине от 30 до 60 мм проходят 4 проточных канала диаметром 3–4 мм, которые имитируют кровеносные сосуды. Корпус был напечатан на 3D принтере. В качестве тканеимитирующего материала выбран пластизоль [5] жесткостью 6 единиц по Шору с примесью графита 1% от общей массы. Полученные с использованием фантома сонограммы сравниваются с ультразвуковыми снимками человека.

Разработанный прототип может быть полезен в качестве тренировочного симулятора для проведения ультразвуковых исследований в образовательных медицинских учреждениях.

### **Литература**

1. **Андренко А.А., Лахин Р.Е., Братищев И.В., Кузовлев А.Н., Мусаева Т.С.** Симуляционное обучение в клинической ординатуре по анестезиологии-реаниматологии в Российской Федерации — результаты многоцентрового исследования Федерации анестезиологов-реаниматологов / *Анестезиология и реаниматология* 2020, № 3, с. 19–26.
2. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.*
3. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: Current state, emerging trends and technologies. *Biomedical Engineering*. 2018. V. 52(3). PP. 199–203.
4. **Osipov L.V., Kulberg N.S., Leonov D.V., Morozov S.P.** 3D ultrasound: visualization of volumetric data. *Biomedical Engineering*. 2020. V. 54 (2). PP. 149–154.
5. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

*В.В. Гребенникова, Д.В. Лейченко, студенты;  
рук. Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.  
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

## **ФАНТОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Рак щитовидной железы составляет около 1% всех злокачественных новообразований, однако почти каждый третий страдает от нехватки йода, приводящей к тяжелым заболеваниям [1]. Разнообразие режимов работы современных ультразвуковых сканеров [2, 3] делает их незаменимым средством диагностики заболеваний щитовидной железы, однако нехватка практического опыта часто негативно сказывается на точности диагностики. Повысить квалификацию врача ультразвуковой диагностики и качество диагностики можно за счёт использования фантомов в образовательном процессе [4].

Данная работа посвящена разработке и исследованию антропоморфного фантома шеи, содержащего щитовидную железу, гортань, сонную артерию и имитацию кожного покрова. В самой щитовидной железе размещены модели раковой опухоли и кисты. Все элементы фантома, за исключением кожного покрова, напечатаны на 3D-принтере неразъемной моделью. Основой фантома служит губчатая структура, образованная пересекающимися струнами. Толщина струн и плотность губки — параметры, которые можно изменять, что позволяет имитировать биологические ткани различной плотности на эхограммах. При создании фантома используется высокоточный 3D-принтер, работающий по стереолитографической технологии и фотополимерная смола [5].

Разработанный фантом позволяет практиковать введение иглы под ультразвуковым контролем, а также дифференциальную диагностику образований и зрительно-моторную координацию. Модель кожного покрова создаёт реалистичное ощущение сопротивления при проколе иглой.

### **Литература**

1. **Vanderpump MPJ.** The epidemiology of thyroid disease. *British Medical Bulletin* 2011; 99: 39–51. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldr030>
2. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
3. **Леонов Д.В., Фин В.А., Лукасов В.М.** Современное состояние и тенденции развития ультразвуковых медицинских диагностических устройств (УЗМДУ) // *Медицина и высокие технологии.* 2014. № 3. С. 8–13.
4. **Schwartz C.M., et al.** (2020) Designing a Low-Cost Thyroid Ultrasound Phantom for Medical Student Education. *Ultrasound in Medicine & Biology.* 46(6):1545–1550.
5. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

*А.А. Насибуллина, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, к.т.н., с.н.с.  
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва),  
Д.Ю. Венедиктова, к.м.н., с.н.с. (СГМУ, Смоленск)*

## **АНТРОПОМОРФНЫЙ ФАНТОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ**

Рак молочной железы является одной из наиболее распространённых причин женской смертности, причём ежегодно на него приходится 25% всех новых случаев заболевания раком и 15% от всех связанных с раком смертей [1]. В диагностике рака важную роль играет ультразвуковое обследование, а точность диагноза зависит от квалификации и опыта работы, поэтому следует уделить внимание подготовке высококвалифицированных специалистов не только в ходе обучения на клинических базах с участием пациенток, но и на специализированных фантомах [2, 3].

Цель настоящей работы состоит в усовершенствовании и апробировании недорогой, доступной, воспроизводимой технологии создания обучающего антропоморфного фантома молочной железы для отработки навыков ультразвуковой диагностики в серошкальном и эластографическом режимах, а также взятия биопсийной пробы под ультразвуковым контролем. Фантом изготавливается из долговечного материала [4]. Воссоздание наиболее реалистичной сонограммы при помощи имитации жировой ткани, млечных протоков и новообразований повысит уровень обучения специалистов ультразвуковой диагностики.

Предложенная технология позволяет создавать фантомы молочной железы для отработки зрительно-моторной координации, навыков навигации, оценки формы, контура, размера включения, а также проведения пункции и биопсии под ультразвуковым контролем. Анатомическая точность моделируемых включений подтверждается ультразвуковой визуализацией.

### **Литература**

1. **Stewart B, Wild CP** (2014) World Cancer Report. International Agency for Research on Cancer, WHO: Chapter 5.12: 470–476.
2. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакт // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2019.
3. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А.** Исследование мерцающего артефакта на фантоме в режиме цветового доплеровского картирования // ИУСА: Труды IV ВНКМУ с международным участием. Т. II. Тверь: ТГТУ, 2016. С. 44–51.
4. **Leonov D, Kodenko M, Leichenko D, Nasibullina A, Kulberg N** (2022) Design and validation of a phantom for transcranial ultrasonography. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 17: 1579–1588. <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02614-2>

*И.А. Останин, студ., И.В. Андреев, асп.;  
рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ КАРТ НАРУЖНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПО МНОГОЭЛЕКТРОДНЫМ ЭКГ-СИГНАЛАМ**

Для повышения чувствительности и информативности ЭКГ-обследований на ранних стадиях заболеваний сердца необходимо решать обратную задачу ЭКГ — реконструировать распределение потенциалов на поверхности сердца. Исходными данными для решения обратной задачи ЭКГ являются карты наружных потенциалов (КНП). Число отсчетов потенциалов КНП на поверхности грудной клетки определяет детальность распределений эквивалентных источников или потенциалов на поверхности сердца и должно быть порядка 1000. При измерениях ЭКГ-сигналов многоэлектродной системой число точек измерений потенциалов на поверхности грудной клетки существенно ограничено (от 40 до 200), откуда возникает задача интерполяции потенциалов на поверхности грудной клетки на более частую сетку.

Для построения КНП в работе применен метод обратного средневзвешенного [1]. При использовании данного метода важно правильно подобрать радиус интерполяции, от которого зависит сколько точек измерения будет вносить вклад в каждую интерполированную точку. Оптимальный радиус интерполяции выбирался так, чтобы обеспечить максимальную корреляцию КНП, интерполированных по моделированным ЭКГ-сигналам в точках размещения электродов многоэлектродной ЭКГ-системы [2], и рассчитанных непосредственно на интерполяционной сетке. Исследования показали, что использование переменного радиуса интерполяции нецелесообразно, так как это приводит к незначительному повышению корреляции, при этом, значительно увеличивается число необходимых вычислений. Радиус интерполяции был выбран 10 см, при этом в него попадает 4 точки измерения. Средняя корреляция при таких параметрах интерполяции составила 0,95.

Таким образом, применение метода обратного средневзвешенного для построения КНП по многоэлектродным ЭКГ-сигналам возможно, и полученные результаты обладают высокой точностью.

### **Литература**

1. **Robert J. Renka, Robert Brown.** Cosine Series Shepard Method for Bivariate Interpolation of Scattered Data. ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 25, No. 1, March 1999.
2. **Гомзин Д.С., Крамм М.Н.** Разработка многоканального электрокардиографического жилета // Радиотехника, электротехника и энергетика: XXVIII Международный. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Тез. докл. М.: МЭИ, 2022.



*В.В. Замашкин, В. Дони, А.Ю. Викторов, студенты;  
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ СЕПАРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТЕРЕОПАРЫ**

Для определения глубины пространства, помимо монокулярных признаков (распределение теней, интерпозиция, линейная перспектива и др.), человек способен использовать стереопсис (стереоскопические признаки) — ощущение глубины благодаря бинокулярному устройству зрения. Тренировка стереопсиса помогает лечить косоглазие и амблиопию, поражающую 1–4% всего населения планеты [1]. Для оценки внутренней анатомии в медицинской практике всё чаще применяют трёхмерные изображения со стереоскопическими признаками, и возникает необходимость визуализировать их на плоском экране. Для этого используют стереопару — проекции изображения с разных ракурсов, их разделяют и предъявляют каждую проекцию отдельно каждому глазу, то есть проводят сепарацию.

В данной работе проводится сравнительный анализ существующих способов сепарации изображений стереопары. С одной стороны, например, существуют технологии виртуальной и дополненной реальности для создания трёхмерного изображения, наиболее приближенного к естественному [2], с другой стороны для этого можно использовать способ анаглифной сепарации, не требующий подключения специального монитора и высоких стоимостных затрат [3]. Способы сепарации изображений стереопары различаются стоимостными показателями, доступностью контента, некоторые из них зависят от поворота головы, требуют покупку специального монитора или очков, имеют ограничения в разрешении экрана и могут вызывать дискомфорт.

В качестве источников информации использовались научные публикации из электронных баз данных Elibrary, National Library of Medicine, IEEE Xplore. Результаты обзора в дальнейшем будут использованы с целью создания маски-очков для сепарации изображений стереопары и проведения исследования по взаимосвязи стереопсиса и сенсомоторных характеристик человека.

### **Литература**

1. **Levi D.M., Knill D.C., Bavelier D.** Stereopsis and amblyopia: A mini-review // *Vision Res.* 2015. Vol. 114. pp. 17–30.
2. **Кубряк О.В., Панова Е.Н.** Определение понятий виртуальной реальности в медицинской реабилитации // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* 2017. Т. 16, № 2. С. 70–72.
3. **Gupta S., Gupta P.** Anaglyph stereo virtual dissection: A novel inexpensive method for stereoscopic visualisation of intracardiac anatomy on CT angiogram // *Cardiology in the Young.* 2021. Vol. 31(12). pp. 1958–1961.

*В.В. Замашкин, В. Дони, А.Ю. Викторов, студенты;  
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГА СТЕРЕОЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ОБЪЁМНОГО СТИМУЛА**

Различная способность к восприятию объёма, глубины видимых объектов как больных, так и здоровых людей является достаточно исследованной проблемой, однако открытых баз данных для дальнейших исследований, например, влияния такого глубинного (стереоскопического) зрения на сенсомоторный контроль нет. Проблемы, связанные, с ухудшением стереоскопического зрения выражаются в снижении у некоторых людей способности к видению искусственного объёмного изображения в процессе использования технологий 3D, косоглазия, амблиопии [1]. Кроме того, различные способы создания стереоскопических изображений могут также по-разному влиять на способность людей воспринимать эти изображения [2]. При широком на сегодняшний день распространении технологий биологической обратной связи по зрительному каналу в практическом здравоохранении, проблема выбора оптимальных (например, для двигательной реабилитации, моторного обучения) характеристик предъявляемых изображений часто не получает должного внимания [3].

В данной работе с соблюдением современных этических норм проводится эксперимент на группе здоровых добровольцах для получения реальных опытных данных о стереозрении человека. Обработка полученной базы данных позволяет экспериментально установить зависимость между порогом стереозрения и пространственной частотой объёмного стимула у человека. Полученная зависимость и база данных в дальнейшем станет основой для изучения влияния стереозрения на сохранение координации и работу мелкой моторики.

Сбор данных проводится с использованием анаглифных очков и компьютерной программы «Стереопсис».

### **Литература**

1. **Hess R.F., Mansouri B., Thompson B.** A new binocular approach to the treatment of amblyopia in adults well beyond the critical period of visual development. // *Restor Neurol Neurosci.* 2010. Vol. 28(6). pp. 793–802.
2. **Zhao L., Zhang Y., Wu H., Xiao J.** The difference of distance stereoacuity measured with different separating methods // *Annals of Translational Medicine.* 2020. Vol. 8, № 7. pp. 2305–5847.
3. **Крикленко Е.А., Кубряк О.В.** К выбору 2D- или 3D-дисплеев в двигательной реабилитации: обзор // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* 2018. Т. 17(3). С. 116–119.

*В. Дони, В.В. Замашкин, А.Ю. Викторов, студенты;  
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕРЕОЗРЕНИЯ У ЧЕЛОВЕКА**

Стереопсис является фундаментальным навыком человеческого зрения, снижение которого оказывает негативное влияние на способность человека выполнять многие задачи. Стереопсис наравне с остротой зрения является важным фактором при обследовании детей, подверженных риску развития амблиопии и эзотропии [1]. Одни из наиболее популярных тестов для оценки стереозрения основаны на анаглифном или поляризационном методе с использованием напечатанных карточек с различными символами и изображениями — тест Рандота, TNO, тест Титмуса и др. Метрические свойства данных стереотестов, такие как валидность и надежность, являются объектом дискуссий [2]. С клинической точки зрения существует необходимость в более точном, удобном и автоматизированном способе анализа стереопсиса, в связи с чем, за последние десятилетия был разработан широкий ряд программного обеспечения, основанный на различных методах создания стереопары. Компьютерные технологии обладают существенным преимуществом перед традиционными методами оценки.

В данном исследовании проводится анализ как отечественного, так и зарубежного программного обеспечения для оценки стереозрения у человека. Анализируется существующая программная база и методы создания стереопары с помощью программного обеспечения, а также сравнивается уровень автоматизации и удобства. В качестве источников информации использовались научные публикации из электронных баз данных, таких как National Library of Medicine, IEEE Xplore, Российская государственная библиотека, а также Научная электронная библиотека Elibrary. Обзор базируется на методике анализа научных публикаций из [3]. Результаты анализа будут использованы при создании программного обеспечения для оценки стереозрения у человека.

### **Литература**

1. **Dobson V, Sebris SL** (1989) Longitudinal study of acuity and stereopsis in infants with or at-risk for esotropia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 30:1146–1158.
2. **Nabie R, Andalib D, Khojasteh H, Aslanzadeh S** (2019) Comparison of the effect of different types of experimental anisometropia on stereopsis measured with titmus, randot and TNO stereotests. *J Ophthalmic Vis Res* 14:48. [https://doi.org/10.4103/jovr.jovr\\_189\\_17](https://doi.org/10.4103/jovr.jovr_189_17)
3. **Кубряк О.В., Кривошей И.В.** Анализ научной области на примере обзора диссертационных работ // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2016. № 6. С. 52–68.

*А.Ю. Викторов, В. Дони, В.В. Замашкин, студенты;  
рук. О.В. Кубряк, д.б.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗОБРЕТЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕРЕОЗРЕНИЯ У ЧЕЛОВЕКА**

Особенности стереозрения человека могут влиять на управление транспортом, работу операторов и выполнение других важных задач, что подразумевает проведение специальных тестов [1]. Это актуализирует разработку и применение технических средств для оценки стереозрения. Также, в связи с распространением технологий «виртуальной реальности», высока актуальность создания удобных для человека устройств демонстрации 3D-изображений, что обуславливает необходимость проверки, учёта физиологических особенностей человеческого зрения [2]. В этой связи, понимание текущего уровня развития данной научно-технической области, анализ готовых инженерных решений является базой, на которой могут основываться новые, перспективные разработки. Хорошей базой для проведения анализа является массив патентов [3]. Цель проводимого исследования — анализ запатентованных в России готовых технических решений (устройств и способов) для оценки стереозрения у человека. Впервые в данной области анализ предполагает подготовку своеобразной «национальной карты» изобретений (по типу [3]). Источник данных — поисковая система Федерального института промышленной собственности. Практическая польза такого анализа заключается в повышении эффективности конструирования перспективных технических средств для оценки стереозрения человека за счёт поиска и учёта достоинств и недостатков ранее запатентованных отечественных технических решений (прототипов), а также для более ясного понимания недостающих функциональных аспектов уже имеющихся разработок, что также позволяет обеспечить наиболее адекватные пути внедрения новых устройств. Результаты будут учтены при создании оригинальной системы.

### **Литература**

1. **Matsuo T, Morisawa Y, Yoshinaga T, Ikebe M, Hosogi R, Matsuo C.** Three-rods test as drivers' license vision test from the viewpoint of reproducibility, eye deviation, and functional visual acuity. *Heliyon*. 2018 Dec 17;4(12):e01056.
2. **Joo WJ, Brongersma ML.** Creating the ultimate virtual reality display. *Science*. 2022 Sep 23;377(6613):1376–1378. doi: 10.1126/science.abq7011
3. **Крикленко Е.А., Кубряк О.В.** Анализ научной области на примере исследования российских патентов // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2018. № 4. С. 229–249.

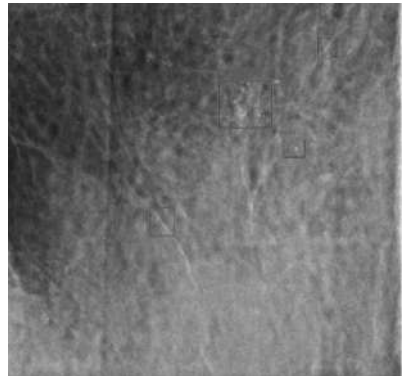
*А.Р. Ахметзянова, студ.;*  
*рук. Д.А. Балакин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РТМ-ДИАГНОСТИКИ В МАММОГРАФИИ**

Особенность РТМ-диагностики состоит в том, что интенсивность излучения тканей (измеряемая глубинная температура) пропорциональна не только температуре, но и их электропроводности. В результате, повышенная электропроводность опухоли по сравнению с окружающими тканями усиливает тепловые изменения в области новообразования. Именно из-за этого эффективность такого метода при выявлении злокачественных опухолей очень высокая. Основным методом визуализации для выявления рака молочной железы является маммография, однако ее контрастность очень низкая, что не позволяет обнаружить диагностически важных микрокальцификаций. [1]

На сегодняшний день существуют различные методы визуализации цифровых маммограмм, такие как 3D-диагностика, улучшение изображения с помощью Enhancement methods, Вейвлет преобразования результатов, а также ограниченное контрастом адаптивное выравнивание гистограммы (CLANE). [2]

В докладе излагаются современные методы улучшения изображения при РТМ-диагностике молочной железы и осуществляется анализ их алгоритмов. Благодаря более точной диагностике можно определить размер кальцинатов, который может указать на наличие опухоли на ранней стадии, а также места их наибольшего скопления (рис.1).



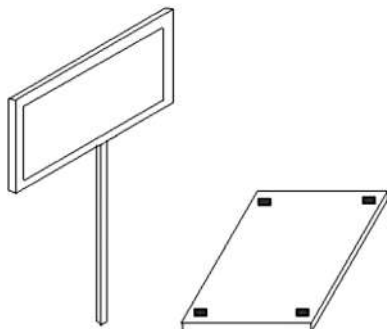
**Рис. 1.** Примерный результат обнаружения кальцификаций

### **Литература**

1. Comparing the performance of image Enhancement methods to detect microcalcification clusters in Digital mammography / Hajar Moradmand [et al] // 2012. № 5(2). P. 61–8.
2. Detection of clustered microcalcifications in small field digital mammography / Tomasz A [et al] // Computer methods and programs in biomedicine. 2006. № 8. P. 56–65.

*И.А. Сукач, П.Р. Бичарова, А.В. Обухов, студенты;  
рук. А.А. Меркулов, к.т.н. асс., зав. НИЛ. (НИУ “МЭИ”)*

## **СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА НА ПАВ РЕЗОНАТОРА**



**Рис. 1.** Схема стабилметрической установки на ПАВ резонаторах

Стабилметрические платформы используются в объективной оценке состояний человека. Такая оценка основана на количественном измерении способности управлять позой тела в известных стабилметрических тестах, например, в вариантах пробы Ромберга, а также в модифицированных и новых методиках с биоуправлением по опорной реакции, отличным от традиционной постурографии.

Датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ) способны изменять свои частотные характеристики при механическом воздействии на них, что позволяет измерять механическую нагрузку, а именно измерять давление на датчик.

Датчики ПАВ отличаются от альтернативных типов датчиков тем, что они не требуют питания и являются беспроводными [1], что позволяет избавиться от большого количества проводов от ПК до объекта наблюдения.

Для отслеживания проекции центра масс на плоскость достаточно 4 датчиков, что облегчает их разрешение по частотам.

В методике расчета используются оси, направленные по диагоналям платформы.

### **Литература**

1. **Меркулов, А.А.** Испытательный стенд для датчика быстропеременных деформации / А.А. Меркулов, С.А. Жгун, А.С. Швецов, Г.Д. Лобов, Б.И. Минеев, В.П. Маслов // XXVI Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы». Москва. — 2018. — С. 317–324.

Т.Л.Н. Чыонг, асп.; рук. М.Н. Крамм, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПОИСК КООРДИНАТ ЦЕНТРА СЕРДЦА ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА

Реконструкция распределения эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) предназначена для использования в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний путем предоставления информации о распределении электрического потенциала на поверхности сердца [1].

Координаты центра модели поверхности эпикарда необходимы для привязки координат этой поверхности к системе координат поверхности торса человека. Для текущего момента времени кардиоцикла на поверхности торса рассчитывается распределение нормированного потенциала

$$|\phi(t_k, z, l)|/|\phi|_{\max}$$

где  $z$  — вертикальная координата на поверхности торса;  $l$  — координата по периметру поперечного сечения торса. Координаты центра сердца (ЦС) определяются на основании взвешивания нормированным потенциалом координат  $z$ ,  $l$  по поверхности торса во фронтальной и сагиттальной плоскостях. На рис. 1 представлены траектории движения ЦС в ходе QRS комплекса, а также координаты ЦС для момента вершины R-зубца (1 способ) и координаты ЦС, усредненные по QRS-комплексу (2 способ представления).

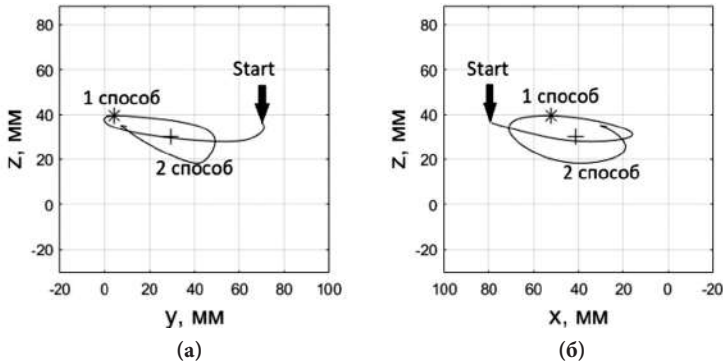


Рис. 1. Координаты электрического центра сердца:  
(а) во фронтальной плоскости; (б) в сагиттальной плоскости

Результаты показывают, что движение ЦС устойчиво проходит в области протяженностью 40 мм в горизонтальной плоскости и 20 мм по вертикали, причем 2 способ адекватно определяет центр данной области.

### Литература

1. Бодин О.Н., Бодин А.Ю., Жихарева Г.В., Крамм М.Н., Палютина Ю.А., Стрелков Н.И., Черников А.И. Патент № 2651068 Российская Федерация. Способ неинвазивного определения электрофизиологических характеристик сердца / Оpubл. 18.04.2018, Бюл. № 11.

*А.Ю. Бодин, асп.; рук. М.Н. Крамм, д.т.н., проф. (НИУ "МЭИ")*

## **ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ С ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА НА КОМПЬЮТЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСХЕМЫ FTDI ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭКС**

Одним из направлений в электрокардиодиагностике является анализ карт электрической активности сердца на поверхности эпикарда [1]. При этом возникает задача оперативной передачи данных с блока многоканальной регистрации электрокардиосигналов (ЭКС) на персональный компьютер. Так, при использовании 64-канальной регистрации требуется передавать поток данных со скоростью порядка 0,5 Мбайт/с. Скорость передачи при использовании USB-UART преобразователей на текущий момент времени достигает 115200 бит/с или 0,0144 Мбайт/с, что недостаточно для наших целей.

При использовании микросхем серии FTDIBitBang можно достичь скорости передачи данных до 400 МБ/с. Авторами для поставленной задачи была выбрана микросхема FTDI245RL с максимальной скоростью передачи 1 МБ/с.

Для достижения скорости передачи по FTDI более 115200 бит/с со стороны компьютера мы разработали программу, которая, работает с FTDI через драйвер FTD2XX\_NET.dll. Интерфейс FTD2XX\_NET увеличивает быстродействие работы с COM-портом и дает доступ к специальным функциям, которые недоступны в стандартном API COM-порта операционной системы. К таким функциям относятся установка устройства FTDI в разные режимы, запись данных в память EEPROM устройства. Программа с помощью вызовов функций из фирменной DLL FTDI может управлять логическими уровнями выводов микросхемы FTDI, и может читать логический уровень на этих выводах. Таким образом, выводы чипа FTDI работают как порты ввода/вывода микроконтроллера GPIO.

Таким образом, авторами для решения проблемы передачи данных с многоканального блока регистрации ЭКС на компьютер, была реализована работа микросхемы FTDI в режиме BitBang и была реализована программа на персональном компьютере, использующая драйвер F2XX. Данное решение позволило передавать данные со скоростью 1 Мбайт/с, что хватает для поставленной задачи.

### **Литература**

1. Крамм М.Н., Бодин А.Ю., Бодин О.Н., Чыонг Т.Л.Н., Жихарева Г.В. Особенности построения многоэлектродной системы электрокардиологического скрининга / Медицинская техника №5 (335) 2022. Стр. 37–41.



**Направление II**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**Information technologies**

---

**Руководитель направления:**

Директор института

информационных и вычислительных  
технологий НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент

Вишняков Сергей Викторович

**Секция 12**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**  
**Mathematical modeling**

---

*Председатель секции: к.ф.-м.н. Вестфальский Алексей Евгеньевич*

*Секретарь секции: к.ф.-м.н. Бирюков Алексей Михайлович*

А.А. Николаев, студ.;  
 рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПОЛУДИСКРЕТНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СЛОЖНОГО ТЕПЛОБМЕНА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ЭКРАНОВ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Рассматривается начально-краевая задача, описывающая процесс распространения тепла в системе, состоящей из  $2n$  теплопроводящих серых экранов с чередующимися теплофизическими свойствами с шириной  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  для экранов с нечетными и четными номерами соответственно, причем  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + 1/n$ . Экраны разделены вакуумными прослойками и представляют собой слои однородного теплопроводящего материала с постоянной удельной теплоемкостью  $c_1 > 0$  и  $c_2 > 0$ , теплопроводностью  $k_1 > 0$  и  $k_2 > 0$ , плотностью  $\rho_1 > 0$  и  $\rho_2 > 0$ , степенью черноты  $\theta_1$ ,  $0 < \theta_1 \leq 1$  и  $\theta_2$ ,  $0 < \theta_2 \leq 1$  для экранов с нечетными и четными номерами соответственно. Уравнение теплопроводности дополнено начальными условиями и граничными условиями теплообмена излучением по закону Стефана-Больцмана на границе раздела экранов и на границах системы экранов.

В данной работе предложены три полудискретных метода решения поставленной задачи, проведена их программная реализация и выполнена серия вычислительных экспериментов, позволяющая сделать выводы о применимости построенных методов.

Важно отметить, что при совпадении свойств и  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ , построенные методы совпадают с полудискретными аппроксимациями предложенными в [1].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект No. 19-11-00033).

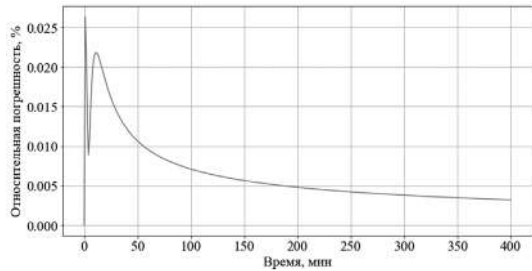


Рис. 1. Относительная погрешность одного из построенных методов

### Литература

- Амосов А.А., Гулин В.В. Полудискретные и асимптотические аппроксимации задачи переноса тепла в системе серых экранов при наличии излучения // Вестник МЭИ. — 2008. — № 6. — С. 5–15.

Н.П. Кочетова, студ.;  
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

## УДАЛЕННЫЙ РАБОЧИЙ СТОЛ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ “УМНОГО ДОМА”

«Умный дом» — это система приборов (источников данных или получателей данных и исполнителей), управляемая администратором.

Рассмотрим БСС “умного дома” на основе совмещенной проективной плоскости  $CPG(2, n)$ . Такая БСС имеет  $(n^2 + n + 1)(n + 1)$  узлов, разбитых по зонам радиодоступности администратором. Также имеется таблица соответствия  $T$  источник-получатель, на основе которой координатор создает комбинаторную модель БСС. Приборы  $i$ -ой зоны доступности кодируются идентификатором  $(i, j)$  (их  $n + 1$ ), где  $i$  — номер блока  $B_i$   $CPG(2, n)$ ,  $j$  — элемент блока. По идентификатору узла-источника  $(i, j)$  роутер может определить идентификатор узла-получателя  $(s, t) = T(i, j)$ . Каждый узел  $(i, j)$  в зоне роутера  $R_i$  в ключевой памяти хранит два предварительных ключа  $(k_{in}, i(j, y), k_{out}, j(i, y))$ .

Роутер  $R_i$  получает от координатора пару  $((i, j), T(i, j))$  для каждого дочернего узла  $(i, j)$  и с помощью операций пересечения блоков и дуальных блоков вычисляет для узла-источника цепочку (длины от 2 до  $b$ ), заканчивающуюся узлом-получателем, трансформируя и транслируя ее полностью для другого роутера и, возможно, частично для дочернего узла. При получении сообщения от роутера узлом завершается исполнение протокола или транслируется отклик родительскому роутеру для продолжения итераций.

Удаленное рабочее место, моделирующее структуру такой БСС и маршрутизацию в ней, создано в составе Алгебраического процессора МЭИ [1].

*Пример.* Полное представление протокол маршрутизации при передаче созданного в узле  $(0,1)$  по предписанию роутера  $R_0$  сообщения  $m$  узлу  $(3,4)$  с участием роутера  $R_3$  (в БСС со структурой  $CPG(2,3)$ )

$$\begin{aligned}
 R_0 \left( \begin{array}{c} ((0,1)(3,1)(3,4)) \\ ((0,1)(3,1)(3,4)) \end{array} \right) &\rightarrow (0,1)m \div (0,1) \begin{array}{c} k_{out,1(0,3)} \\ (0,1)e(m) \end{array} \rightarrow \\
 R_0 \left( \begin{array}{c} ((3,1)(3,4)(0,1)e(m)) \\ ((3,1)(3,4)(0,1)e(m)) \end{array} \right) &\Rightarrow R_3 \left( \begin{array}{c} ((3,1)(3,4)(0,1)e(m)) \\ ((3,1)(3,4)(0,1)e(m)) \end{array} \right) \rightarrow (3,1) \begin{array}{c} k_{out,1(3,0)} \\ m = d(e) \end{array} \div \\
 k_{in,3(1,4)} &\rightarrow R_3 \left( \begin{array}{c} ((3,4)(3,1)e(m)) \\ ((3,4)(3,1)e(m)) \end{array} \right) \rightarrow (3,4) \begin{array}{c} k_{in,3(4,1)} \\ m = d(e) \end{array} \div (3,4).
 \end{aligned}$$

### Литература

1. Frolov, A. Klyagin, N. Kochetova and A. Vinnikov, “Educational Desktop for Remote Modeling of Wireless Computer Networks subject to Constraints,” 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), 2022, pp. 1–5, doi: 10.1109/Inforino53888.2022.9782913

*А.И. Захарова, студ.;  
рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

Рассматривается задача о возможности по угловым измерениям оценивать смещение места падения и соответствующий момент времени. Наибольшая трудность оценивания этих параметров возникает при орбитах с неизменным азимутом, изменяется только угол места. Информация о точке падения содержится в наблюдениях при снижении высоты, т.е. при малых (относительно радиуса Земли) изменениях расстояния до центра Земли. В этом случае можно считать ускорение свободного падения и угловую скорость константами, поэтому модель движения упрощается по сравнению с движением по Кеплеру. Разработчикам измерительных систем нужны расчеты, показывающие возможность получения практически интересных точностей. Цель работы — количественно проанализировать условия (расстояние до точки приземления и время приземления), при которых достигаются требуемые точности. В данной работе используется двумерная модель движения и измерения при 4-х параметрах: в первую очередь, момента  $t$  приземления, смещения  $\Delta$  относительно наблюдателя и, во вторую очередь,  $V_x$ -горизонтальной скорости и  $\text{tg}\alpha$  — угла падения. В результате получается аппроксимация задачи анализа на плоскости с 4 параметрами вместо задачи в трехмерном пространстве с 7 параметрами. Оценка возможной точности производится с помощью вычислений матрицы Фишера и информационного неравенства Рао-Крамера. Результаты расчетов приведены в виде таблиц значений нижних границ для стандартных ошибок. В момент вынесения решения об обнаружении существенным является время  $\tau_3$  (запасное время), оставшееся до момента падения. В работе при заданных параметрах измерителя  $\sigma$  и  $\Delta t$  и требуемой достоверности, определяемой значением сигнал-шум  $\gamma^2$ , а также требуемой различающей способности  $\Delta^*$ , определяется время запаса  $\tau_3$ , зависящее от орбиты. В заключении обобщаются результаты анализируемых потенциальных точностей времени и места приземления в окрестности наблюдателя.

### **Литература**

1. **Горицкий Ю.А., Тигетов Д.Г., Ануфриев А.М.** Двумерная модель для оценки эффективности угловых измерений по эллиптическим орбитам // «Известия РАН. Теория и системы управления», 2020, № 6, 12 с.
2. **Горицкий Ю.А., Захарова А.И.** Оценка потенциальной точности некоторых параметров орбит по угловым измерениям: двумерная модель // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 133–144.

*К.С. Беликова студ.;*  
*рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

Рассматриваемая статистическая задача связана с технической системой обнаружения смещения орбиты тела, движущегося в поле силы тяжести Земли, по угловым измерениям. Система предназначена для определения места и момента падения. Ставится вопрос, возможно ли оценить эти параметры с заданной точностью, какие условия для этого достаточны и какие потребуются статистические оценки.

В работе [1] обоснована достаточно простая модель процесса «движение-измерение» сведением к анализу его на плоскости. В работе [2] анализируется потенциальная точность оценок.

В данной работе строятся и анализируются сами оценки этих параметров. При переходе от угловых измерений к их тангенсам после некоторых математических преобразований возникла статистическая задача, тесно связанная с определением параметров. Время наблюдения делится на две части. В первой оценивается горизонтальная скорость, во второй, на стадии снижения высоты — место и время падения. Анализируется влияние смещения на измеряемый тангенс угла при разных орбитах и поведение статистики на втором участке при различных параметрах. Основная задача сведена к регрессионному анализу оценки двух параметров (измерение с ошибками точек гиперболы). С целью получения результатов по точности проводится статистическое моделирование оценок скорости, смещения точки падения и момента времени. Приводятся результаты расчетов.

### **Литература**

1. **Горицкий Ю.А., Тигетов Д.Г., Ануфриев А.М.** Двумерная модель для оценки эффективности угловых измерений по эллиптическим орбитам // «Известия РАН. Теория и системы управления», 2021, № 2. С.14–24. DOI: 10.31857/S0002338820060025
2. **Ю.А. Горицкий, А.И. Захарова.** Оценка потенциальной точности некоторых параметров орбит по угловым измерениям: двумерная модель.

*М.А. Дедова, студ.;  
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

## **ПРОТОКОЛ ЗАБЫВАЮЩЕЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ГОМОМОРФИЗМА КРИПТОСИСТЕМЫ RSA**

Криптографическое понятие забывающей передачи (обозначенное  $OT$  — oblivious transfer), имеет множество применений, включая безопасные двусторонние и многосторонние вычисления, поиск частной информации, интеллектуальный анализ данных с сохранением конфиденциальности, протоколы подписания контрактов, рандомизированные протоколы подбрасывания монет и сертифицированные протоколы передачи электронной почты.

С точки зрения безопасности,  $OT$  является базовым криптографическим примитивом и в основном используется в качестве строительного блока в других более общих примитивах.

В [1] дана схема для построения протоколов забывающей передачи «одно из двух»  $OT_1^2$ , основанная на асимметричном гомоморфном шифровании и продемонстрирован пример его реализации на основе свойства гомоморфизма шифрования RSA:  $c(m_1 m_2) = (m_1 m_2)^e = (m_1)^e (m_2)^e = c_1 c_2$ ,  $m(c_1 c_2) = m(c_1) m(c_2) = m_1 m_2$ . При этом схемы шифрования, хеширования и обеспечения целостности не конкретизированы.

Создана предназначенная для использования в учебном процессе компьютерная модель протокола забывающей передачи на основе гомоморфизма криптосистемы RSA с применением разработанных компьютерных моделей шифратора Кузнецик [2], протокола вычисления хеш-функции Стрибог [3] и протокола выработки имитовставки [4]. Все использованные функции и методы соответствуют Национальным стандартам РФ [2, 3, 4] и являются технологически независимыми.

### **Литература**

1. **Saeid Esmaeilzade, Ziba Eslami, Nasrollah Pakniat** A generic construction to build simple oblivious transfer protocols from homomorphic encryption schemes // The Journal of Supercomputing. — January 2022. — № 78(3).
2. **ГОСТ Р 34.12–2015.** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры // Стандартинформ. — Москва. — 2015.
3. **ГОСТ Р 34.11–2018.** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хеширования // Стандартинформ. — Москва. — 2018.
4. **ГОСТ Р 34.13–2015.** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров // Стандартинформ. — Москва. — 2015.

*С.М. Башкова, студ.;*  
*рук. А.М. Бирюков, к.ф.-м.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **КОРРЕКТНОСТЬ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ В ШКАЛЕ ПРОСТРАНСТВ ФУНКЦИЙ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ МЕТРИКАМИ**

Представленная работа посвящена вопросу локальной корректности задачи Коши для систем комплексных дифференциальных уравнений в пространствах аналитических функций с интегральными нормами типа норм пространств  $L_p$  с весом [1, 2]. Интегральная метрика введена как по пространственной, так и по «временной» переменным.

Была установлена достаточность условий Лере-Волевича для локальной корректности аналитической задачи Коши в шкале банаховых пространств аналитических функций, допускающих распространение особенностей степенного характера по боковой поверхности «конуса», с нормами пространств  $L_p$  с весом. Причем область определения решения совпадает с областью определения правой части системы дифференциальных уравнений.

Доказательство данного результата основывается на сведениях задачи Коши к интегродифференциальному уравнению и применении принципа сжимающих отображений, а также на использовании новых лемм, полученных в работе, о свойствах аналитических функций комплексного переменного.

### **Литература**

1. **Дубинский Ю.А.** Задача Коши в комплексной области. М: Изд-во МЭИ, 1996.
2. **Бирюков А.М.** Комплексная задача Коши в пространствах аналитических функций с интегральными метриками: Дис. ... канд. Физико-математических наук: 01.01.02 / А.М. Бирюков, Нац. исслед. ун-т. МЭИ, — М., 2014. — 75 с.



*В.И. Фролов, студ.;*  
*рук. О.В. Шевченко, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ IIoT-РЕШЕНИЯ НА RASPBERRY PI И YANDEX IOT ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

В настоящее время большое внимание уделяется безопасности а области атомной энергетики. В связи с этим довольно часто приходится прибегать к проверке отказов элементов АЭС в режиме реального времени. Именно поэтому данная задача является актуальной.

Настоящая работа направлена на создание клиент-серверного приложения с помощью быстрого прототипа IIoT-решения на Raspberry Pi и Yandex IoT. Основная задача — создание аналитического модуля системы автоматизированного управления отказами АЭС. С помощью прототипов должен производиться сбор телеметрии с датчиков атомных энергетических станций, которые посылают сигналы о своей работе в облачное хранилище. Облако должно принимать данные, накапливать их в хранилище, а также предоставлять доступ к накопленным данным с последующим их использованием при статистических проверках.

В приложении будут использоваться: проверка наличия локальных изменений интенсивности с помощью критерия Шермана, критерий Мозеса для полной выборки и его модификация, а также критерий Мозеса для цензурированных выборок и его модификация.

**Секция 13**  
**ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА**  
**Applied mathematics**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Еремеев Александр Павлович*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Чернецов Андрей Михайлович*

*С.А. Задорин, студ.; рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ K-MEANS+NN И K-MEANS+EN**

Кластеризация — это одна из основных задач интеллектуального анализа данных, которая заключается в разделении всего множества объектов  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на некоторое число непустых подмножеств этих объектов — кластеров таким образом, чтобы объекты одного кластера были максимально схожи между собой, а различных — отличались [1].

Один из самых распространенных алгоритмов кластеризации k-means имеет ряд недостатков [1]:

- точность кластеризации алгоритмом k-means зависит от начальных центров кластеров;
- алгоритм k-means плохо разделяет близко расположенные кластеры, имеющие сложную структуру.

В данной работе предложены две модификации k-means, суть которых заключается в итеративной коррекции разбиения, получаемого k-means.

Корректировка разбиения в алгоритме k-means+NN осуществляется следующим образом: каждому объекту ставится в соответствие тот кластер, который наиболее часто встречается у  $l$  его ближайших соседей. Такой пересчет разбиения продолжается до тех пор, пока оно изменяется.

В алгоритме k-means+eN коррекция происходит таким образом: каждому объекту ставится в соответствие тот кластер, метка которого встречается чаще всего у объектов из  $\epsilon$ -окрестности исходного объекта. Пересчет разбиения не останавливается до тех пор, пока оно изменяется.

Было проведено тестирование разработанных алгоритмов на наборах данных: Iris Data Set [2], Wine Data Set [3] и TwoMoons [4]. На этих наборах данных при адекватных начальных условиях предложенные алгоритмы показали чуть лучшую точность и качество разбиения, чем k-means.

### **Литература**

1. **Пестунов И.А., Синявский Ю.Н.** Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений // Вестник Кемеровского государственного университета. — 2012. — Т.4. — № 2. — С. 110–125.
2. **Iris Data Set** — **UCI Machine Learning Repository** [Электронный ресурс] // URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/iris> (дата обращения: 01.10.2022).
3. **Wine Data Set** — **UCI Machine Learning Repository** [Электронный ресурс] // URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/wine> (дата обращения: 01.10.2022).
4. **data.twomoons: Two moons dataset in fdm2id** — **RDRR.io** [Электронный ресурс] // URL: <https://rdr.io/cran/fdm2id/man/data.twomoons.html> (дата обращения: 01.10.2022).

*И.С. Павлов, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РОССИЙСКИХ КРИПТОАЛГОРИТМОВ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

В последнее время в России реализуется политика импортозамещения, в том числе и в области продуктов информационных технологий. Кроме того, российское законодательство требует использования только российских криптоалгоритмов для защиты некоторых видов информации ограниченного доступа. Поскольку за последние годы мобильные устройства стали неотъемлемой частью жизни людей, создание программных реализаций российских криптоалгоритмов является актуальной задачей.

В данной работе основное внимание направлено на исследование основных отечественных алгоритмов блочного шифрования ГОСТ 34.12-2018 («Кузнечик» и «Магма») [1], и на исследование основного отечественного алгоритма криптографического хеширования ГОСТ 34.11-2018 («Стрибог») [2], а также на методы эффективной реализации криптоалгоритмов «Магма» и «Стрибог».

Кроме того, в данной работе приведены программные реализации приложений для мобильных устройств на платформе Android криптоалгоритмов «Магма» и «Стрибог», способные выполнять криптографическое шифрование и хеширование файлов и введенных пользователем текстов. Приложения имеют по две реализации, одна из которой максимально оптимизирована относительно другой с точки зрения программного кода и абстракции данных. Более того, оптимизированная реализация «Магмы» способна параллельно выполнять шифрование и расшифрование разных блоков входных байт.

Реализованные приложения были протестированы на различных устройствах и на различных файлах с целью сравнения времени работы в зависимости от мощности устройства. Было установлено, что оптимизированные реализации приложений показали куда большую скорость шифрования и хеширования относительно неоптимизированных.

Для увеличения быстродействия работы приложений были предложено криптографические вычисления производить на специальном вычислительном сервере, при этом передачу между ним и клиентом организовать по протоколам безопасной передачи данных.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р 34.12-2015** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.
2. **ГОСТ Р 34.11-2012** Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хеширования. М.: Стандартинформ, 2013. 25 с.

*К.О. Сидоров, студ.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА DATA MINING ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ СУИЦИДАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ В СООБЩЕНИЯХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

На данный момент нейронные сети показывают выдающиеся результаты в различных задачах Data Mining. Например, конволюционные сети показывают выдающиеся результаты в приложениях к картинкам и речи, а рекуррентные сети хорошо работают с воспроизведением естественного языка или машинным переводом. Таким образом, имеет смысл использовать новые технологии для решения широкого спектра как общих, так и каких-либо конкретных задач [1].

Целью работы является детектирование суицидально окрашенных сообщений в социальных сетях. Самоубийства в Российской Федерации являются важной социальной проблемой национального масштаба [2]. Задача состоит в том, чтобы по обучающей выборке (текстовые сообщения) обнаруживать потенциально суицидальные сообщения. Это позволит сократить уровень самоубийств, появится возможность помочь человеку, например, использовав вспомогательную рекламу с номером горячей линии экспертов в данной области, психологов. Также появится возможность применить результаты детектора в чат-ботах, которые в ходе переписки могут также помочь человеку справиться с проблемой.

В работе был проведен анализ основных архитектур нейронных сетей для решения поставленной задачи. В качестве исходных данных для исследования получены тексты с американского сайта Reddit. Для корректности исследования была выполнена тщательная предобработка, очистка от «выбросов», а также автоматический перевод текстов с английского языка на русский с использованием парсинга онлайн-переводчика DeepL. Были рассмотрены такие методы, как FastText, Word2Vec, а также современные модели с механизмом Attention.

В результате работы были получены первые рабочие варианты моделей нейронных сетей для детектирования суицидально окрашенных сообщений. Таким образом, есть высокий шанс идентифицировать пользователей с определёнными проблемами с настроением или психическим здоровьем для того, чтобы в дальнейшем применить модели для помощи этим людям.

### **Литература**

1. **Charu C. Aggarwal.** Neural Networks and Deep Learning. 2020.
2. **Аминов И.** Самоубийства и их профилактика в Российской Федерации, 2020 год: основные факты // Демоскоп Weekly. — 2021. — Сентябрь (№ 911–912).

*Н.Г. Фирагин студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АРХИТЕКТУРЫ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ**

Распознавание изображения относится к классу задач классификации множества объектов по какому-либо критерию или признаку [1]. Существует множество различных алгоритмов, которые решают задачи такого плана, однако искусственные нейронные сети (НС) являются наиболее подходящим инструментом для распознавания изображений.

Одна из самых популярных задач для искусственной НС — это распознавание всевозможных визуальных образов. В качестве архитектуры нейронной сети выбран многослойный перцептрон, который представляет собой класс искусственных НС прямого распространения, обычно состоящих из трех слоёв: входного, скрытого и выходного [2]. Нейроны в НС такого вида используют нелинейную функцию активации. Нейроны, которые являются входными не используют функцию активации. Для обучения модели многослойного перцептрона применяются обучение с учителем и алгоритм обратного распространения ошибки.

В работе решается проблема повышения эффективности процесса обучения полносвязной НС для задачи распознавания изображений путем использования средств параллельных технологий для высокопроизводительных архитектур с общей памятью. Под задачей рассматривается способность распознавать изображения, представляющие образы рукописных цифр набора MNIST. Далее происходит распараллеливание модели НС для уменьшения временных затрат по сравнению с последовательной реализацией. Параллельная версия алгоритма обучения НС была реализована с помощью технологии OpenMP [3] и библиотеки компьютерного зрения OpenCV на языке C++.

В работе проведен компьютерный анализ реализованной архитектуры НС, где рассмотрена способность различать сетью рукописные цифры набора MNIST. В работе представлены результаты исследования полученной сети после применения методик параллельных вычислений, приведены краткие выводы и рекомендации.

### **Литература**

1. **Франсуа Шолле.** Глубокое обучение на Python. — Питер, 2018 г.
2. **Хайкин Саймон.** Нейронные сети. Полный курс. 2018 г. 1104 с.
3. **Грегори Р. Эндрюс.** Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования. 2003 г. 512 с.

*Д.А. Лосев, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОСТОВЕРЯЮЩИХ ЦЕНТРОВ**

В большинстве случаев для создания сетей доверия используются удостоверяющие центры, которые выдают пользователям сертификаты их открытых ключей. Таких сертификационных центров достаточно мало, и большая часть из них находится за границей. Вследствие санкций большинство таких центров перестали предоставлять услуги клиентам из России. Например, некоторые российские сайты перестали открываться в иностранных браузерах из-за того, что браузер считает сертификат сайта не лицензированным. Также стоит отметить, что для получения сертификата открытого ключа необходимы некоторые документы, что вызовет проблемы у обычных пользователей. Поэтому тема данной работы является актуальной на сегодняшний день.

Основной архитектурой сети доверия, которая не использует удостоверяющие центры, является OpenPGP — прикладная криптосистема PGP (Pretty Good Privacy), разработанная в 1991 году. Данная работа оказалась первым продуктом подобного уровня, представленным для свободного доступа всему миру. Изначальной целью разработки была защита гражданских прав пользователей глобальной сети, а главной задачей программы стала криптографическая защита электронной почты — шифрование.

Существует модификация данной архитектуры под названием GnuPG (GNU Privacy Guard) — свободная программа для шифрования информации и создания электронных цифровых подписей. Разработана как альтернатива PGP и выпущена под свободной лицензией GNU General Public License. GnuPG полностью совместима со стандартом IETF OpenPGP.

Таким образом, на основании вышесказанного планируется создать продукт, включающий в себя: собственную сеть доверия, сервис для взаимодействия пользователей и приложение для мобильных устройств. В результате пользователь будет иметь возможность не только безопасно передавать свои данные, но и идентифицировать отправителя.

### **Литература**

1. **Бараш А.В., Баранова Е.К.** Криптографические методы защиты информации. М.: КНОРУС, 2016. 162 с.
2. **Левин М.Д.** PGP: Кодирование и шифрование информации с открытым ключом. М.: Бук — пресс, 2006. 166 с.

*П.Д. Окованцев, студ.;*  
*рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ DATA MINING ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН**

Нефтедобывающая промышленность является лидирующей отраслью России по поступлениям денежных средств в бюджет государства. Вместе с этим эксплуатация нефтяных объектов связана с рисками аварий, которые могут принести ущерб здоровью сотрудника, интересам компании и государства, а также вред окружающей среде.

Одной из задач диагностики является определение технического состояния объекта в будущем. В моменты диагностирования фиксируется и со временем накапливается информация о динамике изменения контролируемых параметров в процессе эксплуатации. Эта информация даёт представление о текущем техническом состоянии объекта и его функционировании в прошлом. Эффективность диагностирования в значительной мере возрастает, если на момент текущего диагностирования решается задача прогнозирования контролируемых параметров на предстоящий период эксплуатации. Решение этой задачи позволяет оценить остаточный ресурс детали, запланировать вид ремонта, периодичность диагностирования и другое [1].

Контролируемый объект характеризуется набором параметров, описывающим его состояние. Для оценки возможности возникновения аварийной ситуации на объекте необходимо выполнять прогнозирование значений данных контролируемых параметров на основе архивных данных. Поскольку объем собранных данных достаточно большой, следует применять методы интеллектуального анализа данных.

Целью работы является исследование и применение на практике основных методов Data Mining для прогнозирования значений контролируемых параметров нефтяных скважин.

В результате были исследованы и проанализированы основные методы решения задачи прогнозирования: линейная регрессия, метод ближайших соседей, деревьев решений и Гауссовский процесс. Выполнено тестирование разработанного программного кода для прогнозирования контролируемых параметров нефтяных скважин. Благодаря разработанному программному продукту можно быстрее предотвращать аварийные ситуации на нефтяных скважинах, а также вовремя изменять режим работы для эффективной добычи нефтяной продукции.

### **Литература**

1. **Чухарева Н.В.** Определение количественных характеристик нефти и газа в системе магистральных трубопроводов. 2010.



*И.И. Алиева, студ.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ DATA MINING ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ НЕФТЕВОДОГАЗОВОГО ПОТОКА**

В настоящее время информатизация общества очень сильно растет и это приводит к тому, что объёмы данных постоянно возрастают в экспоненциальном масштабе. Исходя из этого, необходимо привлекать более сложные современные методы искусственного интеллекта, ориентированные на обработку таких объёмов информации. К ним относятся такое направление искусственного интеллекта как методы интеллектуального анализа данных Data Mining [1]. Одним из примеров областей науки, в котором используются такие методы, является задача классификации контролируемого объекта. Это связано с тем, что для контроля сложных технологических процессов необходимо обеспечивать постоянный мониторинг их состояния, который включает в себя введение архива данных по большому количеству датчиков контролирующих процессов.

В работе наблюдается пример решения задачи классификации с помощью методов Data Mining для предметной области нефтедобычи. Рассматривается решение практической задачи классификации режимов течения нефте-водо-газового потока на основе показаний многофазного расходомера в режиме реального времени. Классификация этих режимов нужна для того, чтобы понять в каком режиме работает скважина: в нормальном или близкому к аварийному [2].

Были исследованы режимы течения нефте-водо-газового потока в нефтяной скважине, а также изучены понятия и методы Data Mining для решения поставленной задачи. Реализованы методы деревьев решений, Random Forest, k-ближайших соседей и опорных векторов Data Mining для решения задачи классификации. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

В результате разработана и реализована программа классификации режимов течения нефте-водо-газового потока, обеспечивающая решение поставленной задачи с высокой точностью. Это позволит своевременно отслеживать непожелательные режимы течения потока и предпринимать технологические решения, направленные на повышения эффективности добычи нефти.

### **Литература**

1. **Ian H. Witten, Eibe Frank.** Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 2003.
2. **Уоллис Г.** Одномерные двухфазные течения. М.: Мир, 1972.

*Е.А. Коцин студ.; рук. О.В. Бартеньев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИЙ АЛГОРИТМА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА НАД ДЕРЕВЬЯМИ РЕШЕНИЙ**

Градиентный бустинг (Gradient Boosting [1]) — один из методов построения ансамблей алгоритмов машинного обучения. Основная идея состоит в жадном выборе очередного алгоритма для добавления в композицию так, чтобы он лучшим образом компенсировал имеющиеся на этом шаге ошибки модели, вычисляемые функцией потерь. На сегодняшний день градиентный бустинг над деревьями решений (GBDT) — один из самых универсальных и мощных методов машинного обучения в задачах обучения с учителем с табличными данными.

В работе исследованы наиболее популярные реализации градиентного бустинга над деревьями решений с открытым исходным кодом: XGBoost [2], LightGBM [3] и CatBoost [4]. Проанализированы характерные особенности реализаций алгоритма GBDT в данных программных пакетах, а также их ограничения.

Сравнение реализаций проведено на наборе данных, предоставленном крупным московским банком в рамках соревнования по анализу данных: рассмотрен практический пример использования данных алгоритмов для решения задачи классификации. В качестве предикторов для моделирования используются данные о клиентах из системы СПАРК, включая различные собранные «анкетные» данные, а также финансовые показатели контрагентов. Целевая переменная — факт предъявления по банковской гарантии: выполнил клиент свои обязательства (0) или нет (1).

Результаты исследования показали, что наилучшей эффективности на этапе обучения и применения моделей достигает реализация LightGBM с результатом 91% по метрике F1 на тестовом наборе данных.

### **Литература**

1. **Friedman J.** Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine // *Annals of Statistics*, 2001, 29(5), p. 1189–1232.
2. **Tianqi Chen, Carlos Guestrin.** XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // *In Proceedings of the 22Nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016, p. 785–794.
3. **Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu.** LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree // *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS)*, 2017, p. 3149–3157.
4. **Liudmila Prokhorenkova, Gleb Gusev, Aleksandr Vorobev, Anna Veronika Dorogush, Andrey Gulin.** CatBoost: unbiased boosting with categorical features // *Advances in Neural Information Processing Systems 31 (NIPS)*, 2018, p. 6638–6648.

*К.С. Кравченко, студ.;*  
*рук. И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА РЕШАТЕЛЯ ДЛЯ РАСШИРЕННЫХ ШАГОВЫХ ТЕОРИЙ ЛОГИКИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ**

При моделировании рассуждений, связанных с обработкой временных зависимостей, в частности, в многоагентных системах, важным является понятие когнитивного агента. В данной работе рассматривается один из подходов к рассуждениям когнитивного агента — рассуждения во времени, предполагающий соотнесение результатов логического вывода агента с моментами времени, в которые они были получены.

Базовыми для концепции рассуждений во времени можно назвать формализмы активной логики (АЛ) — концептуальной системы, объединяющей в себе ряд формализмов рассуждений, происходящих во времени, которые рассматриваются как протекающий во времени процесс [1]. Формализмы, отвечающие принципам АЛ, подходят для решения задач управления рассуждениями в условиях жестких временных ограничений [2], когда превышение допустимого количества времени на решение, называемого порогом, может приводить к катастрофическим последствиям. Рассуждения, удовлетворяющие данной концепции, обладают следующими важными свойствами: во-первых, результаты рассуждений могут быть соотнесены с моментами времени, в которые они были получены, и когнитивный агент способен это осознать (свойство темпоральной чувствительности), и, во-вторых, эти рассуждения толерантны к возникающим в процессе рассуждения противоречиям (паранепротиворечивость).

В данной работе представлено развитие формализма расширенных шаговых теорий (РШТ) с использованием семантики ответных множеств (Answer Set Programming, ASP). Предложена архитектура решателя для шаговых теорий, содержащих в правилах лишь пропозициональные литералы. Кроме того, разработан действующий прототип решателя, использующий в качестве модулей существующие системы вывода ASP.

### **Литература**

1. **Elgot-Drapkin J., Perlis D.** Reasoning situated in time I: Basic concepts. J. of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, 1990, vol. 2, pp. 75–98.
2. **Fominykh I., Ereemeev A., Alekseev N., Gulyakina N.** Decision making and control of a cognitive agent's knowledge process under time constraints. In: Communications in Computer and Information Science, 2020, pp. 212–221.
3. **Fominykh I., Vinkov M.** Step theories of active logic and extended logical programs. In: Advances in Intelligent Systems and Computing, pp. 192–201.

*В.А. Большаков, студ.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СРЕДЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД DATA MINING**

На данный момент нейронные сети пользуются большой популярностью и показывают выдающиеся результаты в различных задачах Data Mining. Различные их архитектуры отлично решают задачи с картинками и речью, работают с воспроизведением естественного языка. Регулярно появляются новые проекты, использующие новые технологии для решения широкого спектра задач. [1] Однако, одна лишь разработанная модель далека от продукта, который может использовать конечный пользователь, который не обладает навыком программирования и специальными знаниями о взаимодействии с представленной моделью.

Целью работы является создание пользовательского приложения в виде сервиса, работающего с моделью искусственного интеллекта. Модель работает с сообщениями и распознает их эмоциональную окраску для корректного взаимодействия с пользователем. Это позволит вовремя оказать помощь человеку, например, использовав вспомогательную рекламу с номером горячей линии экспертов в данной области, психологов.

В работе был настроен чат-бот, который общается с человеком и предлагает ему помощь, если он выражал негативно окрашенные мысли. Для этого были изучены и применены методы разворачивания больших моделей искусственного интеллекта на стороне сервера, методы асинхронного доступа к модели, проведено тестирование и интеграция сервиса, была настроена балансировка нагрузок и сбор статистик запросов с использованием ArcGIS Server [2]. Так же была добавлена возможность определенным пользователям участвовать в ручной разметке данных и отправлять их для дообучения модели. Сервис реализован с использованием фреймворка Django [3] и СУБД PostgreSQL.

В результате работы был создан прототип приложения, использующего модель нейронной сети для детектирования негативно окрашенных сообщений.

### **Литература**

1. **Charu C. Aggarwal.** Neural Networks and Deep Learning. 2020.
2. Работа со статистикой сервера [Электронный ресурс]. URL: <https://enterprise.arcgis.com/ru/server/10.6/administer/windows/working-with-server-statistics.htm> (Дата обращения 18.10.2022).
3. **Julia Elman, Mark Lavin.** Lightweight Django: Using REST, WebSockets, and Backbone. 2015.

*С.А. Бабушкин, студ.;  
рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЛИЦ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Определение и распознавание лиц является одной из важных задач, которая находит применение в различных сферах и задачах компьютерного зрения. Методы распознавания лиц могут применяться как в сфере обеспечения безопасности, например охране предприятий, жилых помещений и общественных мест, так и для сбора статистики, которая может помочь в выявлении количества людей в определенном месте, целевой аудитории, отслеживании передвижений и пр.

Исследования проводились с точки зрения применения нейросетевых методов для решения задачи распознавания лиц по двумерному изображению. Были проанализированы существующие методы распознавания лиц; проанализированы методы выделения характерных признаков из изображений; выбор архитектуры нейронной сети и ее обучение на различных наборах данных.

Осуществлён выбор архитектуры YOLOv4 [1], обученной на наборе данных WiderFace [2], который состоит из 32203 изображений и содержит 393703 размеченных человеческих лиц. Модель состоит из входного слоя, принимающего изображение размером (640, 640), базовой классифицирующей модели, основанная на модели CSPDarknet53 [1] с 27,6 млн параметров, спроектированной для решения проблемы затухающего градиента, усиления распространения признаков, поощрения сети к повторному использованию признаков и уменьшения количества параметров сети; «шеи» — модели, комбинирующей слои признаков базовой модели и «головы» — модели, отвечающей за непосредственное обнаружение необходимых признаков.

Мерой качества работы модели является значение пересечения областей ограничивающих объект прямоугольников. Проверка качества проводится на валидационной выборке. Ожидаемое значение меры должно стремиться к единице.

Полученная в результате система может быть адаптирована для идентификации и верификации человека, и на основе собранных данных людей, можно выявлять личность обнаруженного человека.

### **Литература**

1. **Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao.** YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. 2019. arXiv:2004.10934.
2. **Shuo Yang, Ping Luo, Chen Change Loy, Xiaoou Tang.** WIDER FACE: A Face Detection Benchmark. // arXiv:1511.06523 — Дата обновления: 20.11.2015.

А.А. Сесин, студ. ;  
рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ С НЕЧЁТКИМИ ПРЕЦЕДЕНТАМИ

Аппарат рассуждений на основе прецедентов (CBR — Case Based Reasoning) является одним из хорошо известных методов искусственного интеллекта, который доказал свою эффективность в многочисленных исследованиях и в различных системах (например, в системах поддержки принятия решений [1]). При этом в некоторых предметных областях зачастую приходится сталкиваться с нечётким представлением информации об имеющихся прецедентах [2]. Из-за этой неопределённости в представлении знаний, описании атрибутов и мерах сходства в прецедентных системах (CBR системах) сложно найти похожие случаи из базы прецедентов (БП). Чтобы справиться с данной проблемой, в настоящее время актуальной темой является исследование и разработка нечётких прецедентных методов, т.е. совместное использование CBR технологии с теорией систем нечёткого логического вывода.

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с исследованием и разработкой программных средств по работе с нечётко заданными прецедентами в CBR системе. Для программной реализации прецедентной системы в качестве базовой модели представления нечётких прецедентов была выбрана параметрическая модель, включающая в себя описание ситуации и решение для данной ситуации аналогично классическому прецеденту. В качестве алгоритма извлечения прецедентов из БП был выбран и реализован алгоритм  $k$  ближайших соседей ( $k$ -NN), для которого был разработан соответствующий алгоритм извлечения прецедентов, использующий различные метрики для определения степени сходства (близости) прецедентов из БП системы и текущей проблемной ситуацией, ориентированный на использование аппарата нечётких множеств и нечёткого вывода.

Разработанная система представляет собой веб-приложение, реализованное на языке Python с использованием веб-фреймворка Flask и библиотек fuzzylogic и FuzzyWuzzy для работы с нечёткими прецедентами и нечёткой логикой и позволяет выполнять редактирование и анализ данных, сравнивать различные методы их обработки, с целью определения наилучшего для решения поставленной задачи.

### Литература

1. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–47.
2. Pal S.K., Mitra P. Case generation using rough sets with fuzzy representation // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2004. — Т. 16. — №. 3. — С. 293.

*В.С. Горшков, студ.;*  
*рук. А.В. Кожевников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ОРКЕСТРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Объёмы собираемых данных в настоящее время создают серьёзные перспективы развития интеллектуальных систем (ИС). Возрастает их качество, а также количество, создавая потребность в развитии инфраструктуры для упрощения процесса внедрения и дальнейшего использования. ИС уже сейчас состоят из целых каскадов определённых моделей поддержки принятия решений (ППР), помимо этого включая в себя различные процессы пред- и постобработки, непосредственный сбор, накопление и агрегацию данных из разных источников.

Каскад или некоторый конвейер моделей ППР в каждом конкретном случае формируется индивидуально в ручном режиме с большими временными затратами на построение единой ИС. Более того, серьёзные трудовые затраты идут на размещение, управление и сопровождение, иначе говоря, оркестрацию таких конвейерных систем.

В работе предлагается подход к построению процессов конвейеризации и развёртывания такой, чтобы эти процессы стали инвариантными относительно интерфейса взаимодействия моделей ППР.

Спроектированная архитектура ориентирована на осуществление: функций сетевого взаимодействия моделей между различными ИС; распределения нагрузки между экземплярами моделей; унификации некоторых функций, например пакетной обработки данных. Для гибкости и надёжности ИС предложены сценарии динамического обновления конфигурации в штатном режиме, используя интерфейс взаимодействия с сервисом администрирования. На основе приведенного анализа существующих частичных решений [1–3] данной проблемы выдвигаются необходимые требования для реализации предложенной архитектуры системы оркестрации моделей ППР.

### **Литература**

1. **Tillet, P., Kung, H.T., Cox, D.** (2019). Triton: an intermediate language and compiler for tiled neural network computations. Proceedings of the 3rd ACM SIGPLAN International Workshop on Machine Learning and Programming Languages — MAPL 2019. doi:10.1145/3315508.3329973
2. **Zhou, Y., Yu, Y., Ding, B.** (2020). Towards MLOps: A Case Study of ML Pipeline Platform. 2020 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (ICAICE). doi:10.1109/icaice51518.2020.00102
3. **Хапке Х., Нельсон К.** Разработка конвейеров машинного обучения. Автоматизация жизненных циклов модели с помощью TensorFlow / пер. с англ. Н.Б. Желновой. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 346 с.: ил.

*Д.Е. Шевцов, О.Ю. Иванов, студенты;  
рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРПРЕТАТОРА ЯЗЫКА muLISP/FRL В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ**

Язык LISP является представителем языков функционального программирования. Он применяется в задачах исследования и разработки программного обеспечения в области искусственного интеллекта (ИИ). Одним из наиболее удачных диалектов языка LISP в задачах обучения является muLISP. Он отличается относительной простотой и небольшим размером. Однако для решения задач ИИ базового функционала muLISP недостаточно, поэтому дополнительные возможности предоставляет язык FRL [1]. Он не является самостоятельным языком программирования, а представляет собой расширение некоторого языка, например — LISP.

Применение этих языков осложнено отсутствием их реализаций на современных платформах.

Целью данной работы является изучение и анализ имеющихся реализаций языков, разработка новой реализации для современных систем.

В рамках данной работы были проанализированы интерпретаторы языка LISP: muLISP-85, muLISP-87, а также система FORIS [2, 3], включающая в себя интерпретатор muLISP/FRL.

На основе проведенного анализа спроектирован и реализован новый интерпретатор muLISP/FRL, сохраняющий основной функционал существующей системы, и интегрированную среду разработки (ИСП) для работы с ним на современных системах, таких как Windows и Linux.

При разработке интерпретатора использовались средства языка с++17, средства для работы с JSON-форматом, библиотека GMP, а для создания ИСП использован фреймворк Qt/C++.

Результатом работы является ИСП, позволяющая использовать эти языки в современных операционных системах.

### **Литература**

1. **Минский М.** Фреймы для представления знаний. — М.: Энергия, 1979, 152 стр.
2. **Чернов П.Л.** Языки и методы программирования. Конспект лекций — М.: Издательство МЭИ, 2017. — 92 с.
3. **Байдун В.В., Бунин А.И., Чернов П.Л.** Языки и системы представления знаний (язык программирования ФРЛ). — М.: Моск. энерг. ин-т, 1993. — 44 с.
4. **Байдун В.В., Кружилов С.И., Сергиевский А.Е., Чернов П.Л.** Программирование на языке ЛИСР в системе muLISP-90. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1993. — 40 с.



*Р.М. Бекбулатов, студ.;*  
*рук. В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ТЭЦ В УСЛОВИЯХ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕШАННО-ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Оптимизация режимов работы теплоэлектростанций (ТЭЦ) является важной технико-экономической задачей, направленной на повышение эффективности использования топлива, а также увеличение её маржинального дохода. Обычно, критериями оптимальности работы ТЭЦ являются расход топлива, топливная составляющая (ТСС), выработка электроэнергии и прочие нормативные показатели [1]. Цены на электроэнергию и специфика торгов на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭМ) на результаты оптимизации в этих случаях влияния не оказывают.

Целью проведенной исследовательской работы была постановка новой задачи оптимизации ТЭЦ в условиях функционирования ОРЭМ, а также сборка модели — цифрового двойника ТЭЦ и ее оптимизация с помощью Python и библиотеки для линейной оптимизации PuLP.

Оптимизируемая модель включает 3 паровых котла, 2 турбины с возможностью работы в Т режиме, 2 котла ПВК. В качестве целевой функции выступает маржинальный доход. С помощью модели можно сделать поверочный расчет, задав фиксированные значения параметров, таких как отпуск пара с котлов или электричества с турбин. В оптимизационном расчете, параметры отпускаются от минимума до максимума. Маржинальный доход, полученный в результате оптимизационного расчета получается всегда больше или равным, чем в результате поверочного.

В ходе исследовательской работы были проведены оптимизационные расчеты и определены оптимальные режимы работы ТЭЦ при разных ценах на РСВ. Цены РСВ были выбраны в диапазоне от 100 до 2000р/МВт. Из полученных графиков нагрузок можно получить некоторые полезные данные, например, точную границу цен РСВ, до которой выгодно отпускать тепло с котлов ПВК, а после которой выгодней включать турбины в Т режиме.

### **Литература**

1. **Чучуева, И.А.** Оптимизация работы ТЭЦ в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности России / И.А. Чучуева, Н.Е. Инкина // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2015. — № 8. — С. 195–238. — DOI 10.7463/0815.0792934. — EDN UJFAIR.

*Е.Л. Бондарь, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ПАТОЛОГИЙ ЗРЕНИЯ**

Когнитивная графика — это совокупность приемов и методов образного представления условий задачи, которое помогает либо увидеть решение, либо найти подсказку для его нахождения [1]. Использование средств когнитивной графики в интеллектуальных системах поддержки принятия решения может существенно помочь лицу, принимающему решения, проанализировать параметры задачи, найти необходимые закономерности и принять решение. В частности, применение когнитивной графики может помочь врачам-офтальмологам в исследованиях патологий сетчатки глаза.

Целью работы является изучение и реализация методов когнитивной графики и основанных на них когнитивных образов для визуализации изменений сетчатки глаза при различных патологиях зрения. Это может облегчить процесс обучения начинающих специалистов, а также способно оказать ощутимую помощь врачу при постановке диагноза, особенно в сложных клинических случаях [2].

В работе было реализовано средство графического представления для визуализации изменения когнитивного образа различных слоев сетчатки во времени, позволяющее наглядно увидеть динамику развития патологии. Для этого были исследованы патологии органов зрения на примере сетчатки глаза, изучены различные типы электроретинограмм и связь между показателями элетрогретинограмм и слоями сетчатки, изучены и применены основные методы и средства когнитивной графики для образного представления объекта, проведено тестирование программного модуля на различных входных параметрах. Модуль реализован на объектно-ориентированном языке C# в среде Visual Studio Ultimate [3].

В результате работы был реализован программный модуль, позволяющий наглядно увидеть развитие патологии сетчатки глаза в динамике.

### **Литература**

1. **А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов.** Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1992.
2. **Aleksandr P. Eremeev, Irina V. Tsapenko.** THE USE OF COGNITIVE GRAPHICS IN THE DIAGNOSIS OF COMPLEX VISION PATHOLOGIES // International Journal “Information Theories and Applications”, Vol. 26, Number 1, 2019. — Pp. 83–99. ISSN 1310-0513 (printed).
3. **Шилдт Г.** Полное руководство по C# 4.0, 2015.

*В.С. Петров, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ**

Рекомендательные системы нашли широкое применение в жизни для подбора полезной информации. В последние годы из-за взрывного роста онлайн-контента все больше внимания уделяется специальному применению рекомендаций. Кроме того, рекомендательные системы — это вид систем поддержки принятия решений (СППР), ориентированных на пользователя-неспециалиста. В частности, медицинские рекомендательные системы ориентированы на пациентов, а СППР (в том числе интеллектуальные [1, 2]) — на медиков, врачей. В настоящее время рекомендательные системы на основе обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) [3] становятся новым объектом исследований. Главной проблемой является поиск баланса между использованием знаний о пользователе и исследованием его предпочтений на данный момент с целью подстройки системы под новые интересы пользователя.

В работе была реализована рекомендательная система, основанная на архитектуре глубокого обучения с подкреплением (Deep RL) [4]. Система состоит из трех основных компонентов: актора (actor), критика (critic) и модуля представления состояний (State Representation Module). Для обучения системы использовался дата-сет MovieLens (1M) [5]. Для оценки модели использовался критерий качества DCG. Наилучшая модель для всех пользователей показывает результат  $DCG = 0.216$ , для сравнения случайные рекомендации имеют  $DCG \approx 0.03$ .

### **Литература**

1. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. — М.: ИНФРА-М, 2020.
2. **Рыбина Г.В.** Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010.
3. **Sutton R.S. and Barto A.G.**, Reinforcement Learning: An Introduction. Second ed. 2018: The MIT Press.
4. **Liu F., Tang R., Li X. et al.** Deep Reinforcement Learning based Recommendation with Explicit User-Item Interactions Modeling // ArXiv. — 2018. — Vol. abs/1810.12027. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.12027.pdf>
5. **Maxwell H.F., Joseph K.A.** The MovieLens Datasets: History and Context // ACM Trans. Interact. Intell. Syst. — 2015. — Dec. — Vol. 5, no. 4. URL: <https://doi.org/10.1145/2827872>.

*Д.Р. Ракипов, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДСМ-МЕТОДА ДЛЯ ПОДБОРА ГИПЕРПАРАМЕТРОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В наше время алгоритмы машинного обучения используются во многих областях, где требуется обработка и анализ большого количества данных (Big Data). Однако, несмотря на разнообразие алгоритмов машинного обучения, эффективность многих из них зависит от того, насколько удачно подобраны параметры (речь идет о гиперпараметрах) алгоритма.

Гиперпараметры алгоритма машинного обучения — это входные параметры алгоритма, которые влияют на его поведение. Примерами гиперпараметров могут служить количество слоев нейронной сети, а также количество нейронов на каждом слое. В настоящее время известен ряд методов, позволяющих подобрать лучший из множества набор параметров: метод поиска по сетке GridSearch и его модификация — метод случайного поиска RandomSearch [1], методы Байесовской и эволюционной оптимизации [2] и другие.

Работа посвящена исследованию возможностей ДСМ-метода автоматического порождения гипотез [3] для поиска оптимальных гиперпараметров моделей нейронных сетей, а также разработке программных средств для реализации соответствующего поиска. Аббревиатура ДСМ — это инициалы Джона Стюарта Милля, формализованные правила индуктивной логики которого являются идеологическим фундаментом ДСМ-метода.

Проведены эксперименты, посвященные анализу возможностей оптимизации нейронных сетей, тестированию ДСМ-метода, возможности применения ДСМ-метода для поиска оптимальных гиперпараметров нейронных сетей. Был создан пакет FcaPy на высокоуровневом интерпретируемом языке Python с реализацией четырех алгоритмов построения множества понятий контекста и алгоритма ДСМ-метода. Работа выполняется в рамках исследований кафедры Прикладной математики и искусственного интеллекта НИУ «МЭИ» по разработке методов и инструментальных средств конструирования интеллектуальных систем реального времени.

### **Литература**

1. **Bergstra J., Bengio Y.** Random search for hyper-parameter optimization // Journal of Machine Learning Research, 2012, vol. 13, p. 201–213.
2. **Bergstra J.** Algorithms for Hyper-Parameter Optimization // Advances in Neural Information Processing Systems, 2011, vol. 24, p. 2546–2554.
3. **Финн, В.К., О.М. Аншаков.** ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: Логические и эпистемологические основания // Эдиториал УРСС, 2009, 432 с.

*М.А. Аверьянова, студ.;  
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТРИКИ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ БОЛЬШИХ NLP МОДЕЛЕЙ**

Одной из частей программно-математических средств, интеллектуальных (экспертных) систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ), применяемых на критических инфраструктурах, ядерных и электрических станциях в том числе, является блок взаимодействия с лицом, принимающим решения (ЛПР) [1].

За последние несколько лет технологии обработки естественного языка (NLP) шагнули далеко вперед в области голосовых помощников, автоматических переводов и фильтрации текста. В то же время существующие методы и метрики оценки их качества (BLEU и ROUGE) отстают из-за плохой корреляции с человеческими суждениями [2].

При обучении текстовых моделей на больших данных возникает вопрос о том, насколько быстро и качественно модель обучается с течением времени. Среди острых проблем также стоит выделить вероятность того, что полученная модель не будет обучена вовсе или наоборот переобучена, напрасно израсходовав выделенные для ее обучения ресурсы.

Для повышения качества обучения были разработаны метрики, основанные на способности определять близкие по смыслу слова. В основу разработки легло предположение, что разные модели способны не одинаковым, но похожим образом различать близкие и далекие по смыслу слова. На основании этого предположения предлагается проведение сравнений исходной модели с уже готовой, предобученной на большом корпусе моделью.

Разработанные метрики могут быть применены в качестве элементов аппаратных программных средств ИСППР РВ для обеспечения эффективного взаимодействия с ЛПР.

### **Литература**

1. **Башлыков А.А. Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике. М.: ИНФРА-М, 2017. 351 с.
2. **Yashaswini S., Shylaja S.S.** Metrics for Automatic Evaluation of Text from NLP Models for Text to Scene Generation // European Journal of Electrical Engineering and Computer Science. — 2021. — Т. 5. — №. 4. — С. 20–25.

В.А. Смирнов, асп.; рук. Н.И. Гданский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОЦЕНИВАНИЮ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В системах поддержки принятия решений одной из основных задач является анализ масштабных наборов альтернатив  $X = \{x_i\}$  ( $i = 1, \dots, N$ ), оцениваемых многокритериальными целевыми функциями  $\bar{F}(x_i) = (F_1(x_i), \dots, F_k(x_i))$ . В начале их оценки производится построение Паретовского решения — совокупности всех недоминируемых альтернатив ( $Par(\bar{F}(\bar{x}), X)$ ). Затем по ней эксперт выбирает оптимальное решение. Поскольку размеры наборов  $X$  достаточно велики, то разработка оптимальных алгоритмов построения ( $Par(\bar{F}(\bar{x}), X)$ ) является актуальной задачей.

Существующие методы решения, как правило, построены на учете специфики анализируемых наборов альтернатив  $X$  (упорядочение критериев [1], выпуклость множества Парето и др.). Применяются генетические алгоритмы [2], сигма-метод, методы композитных точек, гиперкубов и др. [3] Общим недостатком их является необходимость выполнения в них значительного перебора.

Предлагаемый метод основан на раздельной сортировке значений критериев  $F_j(x_i)$  ( $j = 1, \dots, k$ ) на наборе  $X$  и формировании специальных списков  $M[j]$  номеров альтернатив, упорядоченных по значению критерия  $F_j(x_i)$ . Построение  $Par(\bar{F}(\bar{x}), X)$  производится путем выборки элементов из списков  $\{M[j]\}$ , являющихся кандидатами на включение в множество  $Par(\bar{F}(\bar{x}), X)$ , и проверке доминирования ими альтернатив, являющихся кандидатами на исключение из  $X$ . Метод позволяет существенно сократить общее число операций при решении задачи. Предполагается рассмотреть несколько вариантов алгоритма.

Предлагаемый метод позволит создавать более мощные экспертные системы по оцениванию многокритериальных данных.

### Литература

1. **Luke S.** Essentials of Metaheuristics. A Set of Undergraduate Lecture Notes. URL: <http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf>
2. **Карпенко А.П., Овчинников В.А., Семенихин А.С.** Распределенная программная система для построения множества Парето в задаче многокритериальной оптимизации динамических систем с использованием параллельного генетического алгоритма // Наука и образование. 2008. № 7. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/98973.html>
3. **Gdanskiy N.I., Belousova M.N.** Modeling Weighted Graphs with Given Parameters of the Minimum Route Between the Vertices. Clever Technologies for Society, State and Economy. «Lecture Notes in Networks and Systems», 2020.

*М.А. Маренков, студ.; Н.А. Панявин, асп.;  
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДУЛЯ РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Важным компонентом любой интеллектуальной системы поддержки принятия решений является встроенный механизм рассуждений, в задачу которого входит продукция новых фактов и заключений, на основе имеющихся данных (знаний) и связей (правил) между ними [1].

Ядром механизма вывода рассуждений главным образом становятся методы правдоподобного вывода. К ним можно отнести следующие методы: индуктивные, абдуктивные, нечеткие, на основе аналогий и прецедентов. Наиболее гибкими и приближенными к человеческим рассуждениям считаются методы моделирования рассуждений на основе нечетких логик.

Применение нечетких логик вводит понятие степени правдоподобности при проверке условий, вследствие чего становится возможным оперировать неполными и нечеткими (зашумленными) структурами данных различной сложности. При анализе поступающей в реальном времени информации на практике зачастую приходится иметь дело с различного рода неопределенностями. На данном этапе возникает задача формирования решения на основании нечетких правил, чаще всего неформализованных.

Одним из преимуществ нечеткой логики для формализации человеческих рассуждений является форма задания правил на естественном языке. Использование лингвистических переменных при рассуждениях позволяет обойти ограничения, накладываемые классическими логиками.

В результате исследований было выявлено, что построенный механизм рассуждений на основе нечетких логик эффективен на практике при нечетких и зашумленных входных данных. Но в то же время, необходимо отметить чувствительность модели к выбранной функции принадлежности.

### **Литература**

1. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике. М.: ИНФРА-М, 2017. 351 с.
2. **Еремеев А.П., Панявин Н.А.** О реализации нечеткой темпоральной модели данных на основе нереляционной базы данных, Труды МНТК «Интеллектуальные системы и информационные технологии — 2021» («ИС & ИТ-2021», «IS&IT'21»). Научное издание. — Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2021. — 624 с.
3. **Зак Ю.А.** Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. — М.: «ЛИБРОКОМ», 2013. — 352 с. — ISBN 978-5-397-03451-7

*П.А. Темерова, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АНАЛИЗА СООБЩЕНИЙ УЧАСТНИКОВ ПУБЛИЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ**

С каждым годом скорость и объемы распространения информации в социальных сетях увеличиваются и будут продолжать увеличиваться. За последний год возросла востребованность получения информации через публичные информационные каналы социальной сети Telegram. В 2022 году Telegram вошёл в топ-5 самых загружаемых приложений в мире, а количество активных пользователей мессенджера превысило 700 миллионов человек в месяц. В России существует свыше 450000 каналов, что представляет собой весьма значительный источник воздействия на различные сферы жизни. Возникла необходимость в исследовании существующих методов и программных средств анализа сообщений участников данных публичных информационных каналов для исключения сообщений, не относящихся к теме канала и несущих рекламный или нежелательный характер.

В рамках работы были изучены методы классификации сообщений участников, алгоритм вычисления уровня доверия к данным сообщениям, методики выявления каналов распространения информации. Также был проведен анализ использования сверточных нейронных сетей, алгоритмов определения тональности текста и интеллектуального анализа текстов, размещенных в социальных сетях (NLP) и автоматизированные процессы сбора информации по заданным параметрам — парсеры. В дальнейшем планируется разработка программного средства, в котором реализуется алгоритм парсера публичных информационных каналов.

### **Литература**

1. **Карабак И.И., Зорин К.А., Ажмухамедов И.М.** Парсинг телеграм-каналов как элемент системы автоматизированного анализа информации, полученной из сети интернет // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2022. — № 1(57). — С. 9–17.
2. **Проноза А.А., Виткова Л.А., Чечулин А.А., Котенко И.В., Сахаров Д.В.** Методика выявления каналов распространения информации в социальных сетях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 4. С. 362–377. <https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2018.409>
3. 700 миллионов пользователей и Telegram Premium [URL]: <https://telegram.org/blog/700-million-and-premium/ru>



А.А. Зуев, аспирант;  
рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ OPENMP И CUDA ДЛЯ УСКОРЕНИЯ НАХОЖДЕНИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА

Одной из распространенных сфер применения современных компьютеров является выполнение различного рода вычислительных задач, в частности, расчет решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, что является необходимым во многих отраслях промышленности и машиностроения. В силу требований к точности полученных результатов для выполнения данных расчетов используются сетки с высокой степенью детализации, что приводит к значительному объему вычислений. Одними из способов ускорения расчетов данных задач является применение параллельных компьютерных систем. В данной работе исследуется широко применяемая в аэродинамике система уравнений Эйлера, описывающая динамику идеального газа:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

где:

$$U = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ \rho e \end{pmatrix} F_x = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ \rho uw \\ \rho(e + p)u \end{pmatrix} F_y = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ \rho vw \\ \rho(e + p)v \end{pmatrix} F_z = \begin{pmatrix} \rho w \\ \rho vw \\ \rho vw \\ \rho w^2 + p \\ \rho(e + p)w \end{pmatrix} \quad (2)$$

Здесь  $u, v, w$  — компоненты вектора скорости,  $\rho$  — плотность газа,  $e$  — объемная плотность внутренней энергии,  $p$  — давление. Для расчетной области также задаются граничные условия 1-го и 2-го рода.

В докладе приводится описание численного метода решения данной системы уравнения и его реализации с применением библиотек OpenMP и CUDA. Приводится анализ полученного ускорения в сравнении с запуском вычислений в однопоточном режиме на центральном процессоре.

### Литература

1. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 656 с.
2. Димитриенко Ю.И., Котенев В.П., Захаров А.А. Метод ленточных адаптивных сеток для численного моделирования в газовой динамике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 280 с.

*У.А. Кочеткова, студ.;  
рук. И.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН**

Нефть является одним из важнейших полезных ископаемых для человечества. Она применяется для производства топлива, изготовления пластмассы, создания лекарственных препаратов и т.д.

Для разработки месторождений нефти используются нефтяные скважины — искусственные полости в недрах земли, из которых извлекается скважинная жидкость. В силу того, что поведение нефтяной скважины требует особого контроля, для отслеживания состояния скважины используется большое количество датчиков. Собранная с датчиков информация представляет собой большой массив данных и хорошо подходит для применения интеллектуального анализа данных.

Актуальность прогнозирования значений контролируемых параметров нефтяных скважин связана с тем, что добыча нефти является дорогостоящим (бурение одной наклонно-направленной скважины в Западной Сибири в 2014–2016 годах оценивалось в 50 млн руб. [1]) и травмоопасным процессом. Прогнозирование значений контролируемых параметров нефтяных скважин может уменьшить экономические затраты и вероятность несчастных случаев на скважинах.

Рассматривается набор данных, собранных на реальной скважине. Он представляет собой многомерный временной ряд. В наборе данных есть семь контролируемых первичных физических параметра и три расчётных параметра: расход жидкости, расход газа и обводненность нефти.

Автором было проведено исследование применения таких методов, как линейная регрессия, скользящее среднее, модели ARIMA и VARMAX, нейронная сеть типа LSTM для краткосрочного (20 минут) и долгосрочного (11 часов) прогнозирования.

Для краткосрочного прогнозирования параметров только на основе их предыдущих значений лучше всего подошли нейронная сеть типа LSTM и модель ARIMA, для долгосрочного прогнозирования — нейронная сеть типа LSTM. Для краткосрочного и долгосрочного прогнозирования параметров с учетом и их предыдущих значений, и значений других независимых параметров лучше всего подошла модель VARMAX. Оценка основывалась на значениях средней квадратичной ошибки.

### **Литература**

1. **А.Н. Янин.** О стоимости эксплуатационного бурения на нефтяных месторождениях Западной Сибири // Бурение и нефть. 2017. № 05.

*Н.С. Скрынников, асп.;*  
*рук. О.Л. Моросин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОКУМЕНТОВ**

При решении задач обработки цифровых копий документов естественным образом возникает необходимость анализа как текста документа, так и рисунков. Для анализа текста обычно используют языковые модели [1], но они неприменимы для извлечения знаний из не-текстовых элементов, для поиска которых требуется разработка специфических детекторов.

Основной целью данной работы является исследование и разработка алгоритма извлечения информации из сложноструктурированных документов, который будет использовать как текст документа, так и данные о его визуальной структуре.

В качестве базовой модели используется нейронная сеть LayoutLMv3 [2]. От предшественников она отличается тем, что в ее архитектуре не используется полносвязная сеть для извлечения визуальных признаков. Изображение нарезается на фрагменты, которые линейно преобразуются в вектор, после чего производится конкатенация с позиционными эмбедингами. Это позволяет значительно снизить число параметров модели. LayoutLMv3 является моделью общего назначения, и подходит для решения задач, связанных как с текстом, так и с изображением (в частности, для задач сегментации структурных элементов). Сравнительный анализ результатов работы показывает, что модель показывает лучшее качество (метрика F1 равна 92.08 против 84.55 ранее) при практически двукратном уменьшении числа параметров ( $368 \cdot 10^6$  и  $536 \cdot 10^6$  соответственно). Исследование качества работы проводилось с использованием набора документов разного вида: бухгалтерской документации (RVL-CDIP), чеков (CORD), документов произвольной формы (DocVQA).

Ожидается, что использование мультимодальных нейросетевых моделей позволит повысить качество извлечения информации из цифровых копий документов.

### **Литература**

1. **Garncarek Lukasz et al.** “LAMBERT: layout-aware language modeling for information extraction.” International Conference on Document Analysis and Recognition. Springer, Cham, 2021.
2. **Yupan Huang et al.** “LayoutLMv3: Pre-training for Document AI with Unified Text and Image Masking.” In Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia (MM '22), October 10–14, 2022, Lisboa, Portugal. ACM, New York, NY, USA.

*А.В. Третьякова, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА УДАЛЕННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИХ ЗНАНИЙ И ПРИВЫЧЕК ПРИ РАБОТЕ В ИНТЕРНЕТЕ**

С развитием сетевых технологий, в частности сети Интернет, возникают проблемы создания и развития новых методов аутентификации для защиты личных данных пользователей. В последнее время разработка новых методов и программных средств аутентификации стала более актуальной в связи с переходом на удаленные способы получения услуг и работы. Популярнее стали интернет-магазины и банки, где пользователь вводит свои финансовые данные; порталы образовательных учреждений должны также ограничивать доступ к своему содержимому (в частности, объектам интеллектуальной собственности). Существующие методы аутентификации не являются совершенными для удаленной аутентификации, что показывает отчет Avast Digital Citizenship Report.

В рамках работы были проанализированы существующие методы удаленной аутентификации пользователей. Были изучены методы сбора информации о просмотренных пользователем веб-страницах, рассмотрены методы классификации текста на основе машинного обучения. Для построения модели классификатора при реализации веб-приложения был выбран метод опорных векторов. Также было реализовано веб-расширение для браузера Google Chrome и само веб-приложение, использующее аутентификацию пользователей на основе их истории браузера. В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ различных методов классификации и кластеризации веб-документов.

### **Литература**

1. **Панасенко С.** Методы аутентификации. <http://www.panasenko.ru/Articles/69/69.html>
2. **Кузнецов Р.Ф.** Классификатор веб-страниц на базе SVM-Multiclass (2006) [http://www.romip.ru/romip2006/10\\_kuznecov.pdf](http://www.romip.ru/romip2006/10_kuznecov.pdf)
3. **Хорев П.Б. Мазаева Э.В.** Аутентификация пользователей на основе знаний об их работе в Интернете. «Современные фундаментальные и прикладные исследования», No1(32), 2019. Стр. 60–65.

*Э.Р. Салахутдинов, асп.;*  
*рук. О.В. Бартедьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА СРЕДСТВАМИ UNITY ML-AGENTS**

Алгоритмы обучения с подкреплением подразделяются в зависимости от использования модели динамики переходов окружающей среды на безмодельные и основанные на модели среды. В ряде областей, например, в робототехнике, применение безмодельных алгоритмов для обучения интеллектуальных агентов сопряжено с большими затратами ресурсов и времени. Данные проблемы решаются при помощи внедрения модели окружающей среды, а при наличии качественной модели среды можно вовсе уменьшить необходимое количество обучающих данных, увеличить скорость и качество обучения интеллектуального агента [1, 2]. Таким образом, на сегодняшний день разработка и применение модели окружающей среды является актуальной задачей.

Целью работы является реализация модели среды для обучения робота передвижению и взаимодействию с элементами его окружения. Благодаря модели окружающей среды агент помещается в различные локации, например, в комнату с мебелью. Одной из задач агента является передвижение по локации без столкновений с окружающими его предметами. Реализация данной модели выполняется с использованием платформы Unity ML-Agents [3].

Безмодельные алгоритмы на основании выбранной стратегии проходят траектории, взаимодействуя напрямую с окружающей средой, после чего производят оценку совокупного дохода и улучшение стратегии. Модель среды позволяет агенту спрогнозировать будущую траекторию при взаимодействии только с моделью без изменения среды. Таким образом, агент из текущего состояния способен оценить различные траектории и на этом основании выбрать лучшее действие [2, 4].

### **Литература**

1. **Moerland T.M., Broekens J., Jonker C.M.** Model-based Reinforcement Learning: A Survey. — 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://arxiv.org/pdf/2006.16712.pdf> (дата обращения 01.11.2022).
2. **Грессер Л., Кенг В.Л.** Глубокое обучение с подкреплением: теория и практика на языке Python. — СПб.: Питер, 2022. — 416 с.
3. **Juliani A. et al.** Unity: A general platform for intelligent agents. — 2018. [Электронный ресурс] URL: <https://arxiv.org/pdf/1809.02627.pdf> (дата обращения 01.11.2022).
4. **Lonza A.** Reinforcement Learning Algorithms with Python: Learn, understand, and develop smart algorithms for addressing AI challenges. — Packt Publishing Ltd, 2019.

*Н.В. Малахов, студ.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ В СФЕРЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ**

За последние несколько лет технология роботизированной автоматизации процессов (Robotic Process Automation, далее — RPA) стала все шире применяться для оптимизации рутинных задач предприятий по всему миру. Данная технология позволяет перенести монотонную работу сотрудников на программных роботов, исключить фактор человеческих ошибок в работе, и повысить эффективность выполнения задач за счёт бесперебойной работы [1].

Согласно оценке HFS Research, рынок RPA-технологий вырос более чем в семь раз в период с 2017 по 2022 годы [2]. Современные решения в сфере оптимизации бизнес-процессов широко используются и в отечественных компаниях, однако, в связи с текущей геополитической обстановкой в мире, сформировался высокий спрос на отечественные платформы, предоставляющие инструменты для роботизации рабочих процессов [3].

В рамках данного доклада проводится сравнительный анализ доступных на данный момент отечественных RPA-платформ и исследование средств разработки программных роботов. Также в работе проводится обзор платформы собственной разработки, предназначенной для создания роботов с использованием современных программных средств и компонентов. Будут подробно рассмотрены ключевые компоненты данной платформы, такие как Robot Framework (набор библиотек для роботизированной автоматизации), OpenCV (технология анализа изображений) и Selenium (программный комплекс, позволяющий автоматизировать работу с веб-браузерами).

### **Литература**

1. What is RPA? A revolution in business process automation. [Электронный ресурс]. // CIO. 2022. 29 июня. URL: <https://www.cio.com/article/227908/what-is-rpa-robotic-process-automation-explained.html> (дата обращения: 22.11.2022)
2. Российский рынок RPA-систем. [Электронный ресурс] // TAdviser. 2022. 11 августа. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский\\_рынок\\_RPA-систем](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Российский_рынок_RPA-систем) (дата обращения: 22.11.2022).
3. **Белаш Г.П.** Российский рынок программных роботов. [Электронный ресурс] // Журнал IT News. 2022. 09 августа. URL: <https://www.it-world.ru/it-news/reviews/187333.html> (дата обращения: 22.11.2022)

А.Н. Маркин, студ.; рук. Н.И. Гданский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОДНОМЕРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КВАДРАТИЧНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Одной из основных операций в технологиях обработки больших данных является определение их оптимальных вариантов. Для оптимизации недифференцируемых, кусочных и сложно вычислимых одномерных функций  $f(x)$  на заданном отрезке  $[a,b]$  применяются методы нулевого порядка, среди которых основное место занимают комплексные методы. Наиболее эффективным из них признан метод Брента, соединяющий квадратичную аппроксимацию с методом золотого сечения [1]. Он является одним из модификаций метода парабол, которая обеспечивает его гарантированную сходимость [2]. Метод используется в языке программирования для статистической обработки данных R [3] и других системах. Анализ метода Брента показывает, что он носит слишком эвристический характер, соединение метода парабол и метода золотого сечения носит формальный характер, не достаточно учитывающий свойства непрерывных унимодальных функций.

Основная идея предлагаемого метода заключается в том, чтобы более полно учитывать данные свойства анализируемых функций и аппроксимирующих их квадратичных парабол, а также вероятностно-статистические закономерности. В частности, по координатам точек можно заранее предсказать выход точки минимума параболы за границы отрезка  $[a,b]$ , и принять соответствующие меры.

Поскольку возможное поведение непрерывной унимодальной целевой функции  $f(x)$  существенно зависит от соотношения значений функции  $f_a$  и  $f_b$  на краях отрезка, то для повышения эффективности поиска предлагается разбить анализ всех ситуаций на 3 основных случая: 1)  $f_a < f_b$ ; 2)  $f_a > f_b$ ; 3)  $f_a = f_b$  для того, чтобы использовать для них наиболее оптимальные алгоритмы.

Разработка данного метода поможет повысить эффективность общих методик анализа и обработки больших данных.

### Литература

1. **Richard Brent**, Algorithms for minimization without derivatives, Courier Corporation, 2013, 208 p.
2. **Гданский Н.И., Лебедев В.М.** Использование универсального алгоритма в методе парабол при одномерной оптимизации. РАЕН, XII Международная СНК «СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2020».
3. <https://github.com/SurajGupta/r-source/blob/a28e609e72ed7c47f6ddfb86c85279a0750f0b7/src/library/stats/src/optimize>

**Секция 14**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР**  
**Computer engineering and CAD systems**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Топорков Виктор Васильевич*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Лешихина Ирина Евгеньевна*



*Л. Касимова, студ.; рук. В.А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА С ПОМОЩЬЮ БЕТА-СПЕКТРОМЕТРИИ**

Внешние условия природного радиационного фона формируют поступления радионуклидов в организм человека [1]. Изучение накопления природных радионуклидов в органах человека и их дальнейшего влияния на биологические процессы дает возможность предупреждать и уже на ранней стадии выявлять потенциально опасные заболевания.

Методика измерений основана на регистрации спектров бета-излучения в приземном атмосферном слое Земли. Для проведения измерений активности радионуклидов в исследуемых почвенных образцах использовался сцинтилляционный бета-спектрометр «Спутник».

В ходе выполнения проекта были выполнены эксперименты по измерению бета-спектров фонового излучения в течение года в г. Алматы. Периодичность в среднем составляла около 10 измерений в сутки с экспозицией не менее 2000 сек. В результате было накоплено более 1600 файлов. Для анализа данных использовалось специальное ПО «Анализатор массива бета-спектров», которое позволило обработать стандартные выходные файлы установки «Спутник», выполнить интегрирование каждого спектра и сформировать временные вариации.

Временная вариация за определенный период была подвергнута математическому вейвлет-анализу [2]. В случае вейвлет-анализа (декомпозиции) процесса (сигнала) в связи с изменением масштаба вейвлеты способны выявить аномалии в характеристиках процесса на различных шкалах, а посредством сдвига можно проанализировать свойства процесса в различных точках на всем исследуемом интервале. Благодаря этому, зная вычисленные коэффициенты вейвлет-анализа, можно спрогнозировать поток бета-частиц природного радиационного фона в ближайшей перспективе.

Результаты измерений позволили внести соответствующие поправки в разработку схемотехники принципиальных электрических схем и конструкции макета прибора. Была разработана блок-схема прибора, позволяющего проводить измерения спектров бета-радионуклидов радона без оказания существенного влияния космического излучения.

### **Литература**

1. **Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Юшков А.В. и др.** Изучение фактора накопления дочерних продуктов распада радона в приземном слое с помощью бета-спектрометрии // *Ядерная физика и инжиниринг*. 2018. Т. 8, № 6. С. 1–7.
2. **Яковлев А.Н.** Введение в вейвлет-преобразования. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. — 104 с.

А.А. Ключанский, асп.;  
рук. В.А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БЛОКА ОПТРОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ ПУЛЬТА КОСМОНАВТОВ «НЕПТУН-МЭ»

На предприятии АО «НИИАО» было разработано рабочее место для проверки модернизированного блока оптронного согласования (БОС) пульта космонавтов «Нептун-МЭ» [1]. Для анализа его функционирования и выработки технологии проверки модернизированных блоков встала задача создания имитационной модели. В дальнейшем модель позволит имитировать возникающие отказы и локализовать неисправности, а также упростит задачу последующей модернизации БОС.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены методы математического моделирования средств радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в результате чего сделан выбор в пользу имитационного моделирования. Затем был произведен сравнительный анализ САПР РЭА и обоснован выбор метода и среды разработки модели — *Altium Designer*.

В ходе разработки имитационной модели блока в выбранной САПР созданы библиотеки элементов, входящих в его состав, собрана схема электрическая принципиальная. Далее был описан процесс создания имитационных моделей компонентов, приведены их фрагменты кода. Более подробно рассмотрен пример построения модели оптопары, которая создавалась при помощи схемы её замещения четырехполюсником в  $h$ -параметрах. Затем разработанные модели были подключены к библиотеке элементов. Далее была произведена настройка имитационной модели блока. В конечном итоге в процессе проверки функционирования модели был проведён анализ фрагмента схемы для определения сигнала на входе мультиплексора, установленного на плате дешифратора.

Разработанная имитационная модель позволит значительно снизить время разработки и затраты на введение изменений в электрических схемах за счет получения предварительных результатов перед макетированием устройства, а также позволит локализовать неисправности путём моделирования отказов различных элементов блока.

### Литература

1. Ключанский А.А. Создание рабочего места проверки блока оптронного согласования пульта космонавтов «НЕПТУН-МЭ» // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать восьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (17–19 марта 2022 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг “Радуга”», 2022. С. 175.

*А.М. Руденко, студ.; рук. Г.А. Бородин, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ И OLAP-КУБА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ETL**

Как известно, для получения ценных сведений из хранимых данных, позволяющих принимать управленческие решения, строить прогнозы, выявлять тенденции в той или иной сфере деятельности используется бизнес-аналитика. Начальным и важнейшим её этапом является процесс извлечения и подготовки данных [1].

В данной работе была поставлена задача разработки программного решения, позволяющего преобразовать данные о поездках в такси в городе Нью-Йорке для использования в бизнес-анализе. Особенность сведений заключалась в том, что они имели разные форматы представлений.

Для решения поставленной задачи, в первую очередь, были изучены технологии интеграции данных и выбрана ETL. Необходимо было программно реализовать её, для чего использовались возможности служб SQL Server Integration Services. В результате достаточно кропотливой работы был подготовлен программный пакет, извлекающий данные из различных источников, преобразующий их в соответствии с требованиями бизнес-анализа и загружающий в базу данных СУБД SQL Server.

На основе интегрированных данных из источников разного формата разработано хранилище данных, предназначенное для хранения больших объёмов данных и ориентированное на их аналитическую обработку вместо транзакционной [2]. При его реализации использована концепция Кимбалла и схема звезда.

Следующим этапом стало проектирование Olap-куба с помощью расширения Microsoft Analysis Services Project для Visual Studio, обеспечивающего возможность быстрого анализа больших данных и позволяющего преодолеть ограничения реляционных БД.

Также была продемонстрирована работоспособность хранилища и Olap-куба на запросах, результаты которых совпадали с уже имеющимися исследованиями для тех же данных, что подтверждает правильность выбранных технических и программных решений.

### **Литература**

1. Что такое бизнес-аналитика: [сайт] / Microsoft Power BI. — URL: <https://powerbi.microsoft.com/ru-ru/what-is-business-intelligence/> (дата обращения 15.10.2022). — Текст: электронный.
2. What is a Data Warehouse: [сайт] / IBM. — 2020. — URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/data-warehouse> (дата обращения 15.10.2022). — Текст: электронный.

А.М. Черкашина, студ.; рук. Г.А. Бородин, проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОСНОВЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВЫХ 2D ФИГУР

Основная задача компьютерного зрения — это наблюдение, обнаружение и классификация объектов. Чтобы научить компьютер «видеть», необходимо разработать нужную последовательность операций, выполнив которую компьютер сможет классифицировать интересующие нас объекты.



Рис. 1. Тестовое изображение

В работе исследуются возможности алгоритмов компьютерного зрения из библиотеки функций OpenCV [1, 2] для распознавания типовых 2D фигур, примеры которых показаны на рис. 1.

На подготовительном этапе выбираются объекты контрастные по отношению к фону. В последствии выполняются следующие действия: исходное изображение в формате RGB преобразуют к формату серых оттенков, а для удаления высокочастотного шума выполняют его размытие при помощи ядра Гаусса. После подготовки начинается собственно этап распознавания объектов. Применяются функции, базирующиеся на алгоритме распознавания краёв (детекторе Канни) и алгоритме Дугласа-Пекера, аппроксимирующем кривую из набора точек. На заключительном этапе — этапе классификации, устанавливаются основные критерии распознавания. Так, если обнаруженный замкнутый контур состоит из трёх отрезков, то фигура считается треугольником; а, если из четырёх, то — четырёхугольником. Для более точной классификации рассчитывается соотношение высоты и ширины найденного контура. Если они равны, то это квадрат, иначе прямоугольник. Если замкнутый контур состоит более чем из десяти отрезков, то это либо круг, либо овал, и уточнение также производится по соотношению высоты и ширины. Обнаруженные объекты подписываются. По результатам классификации можно судить о верно разработанном алгоритме. Последовательность действий при работе с видеочамерой не сильно отличается от представленной выше, поскольку видео — это цепочка изображений, то функции могут применяться аналогичные.

Апробированный алгоритм планируется использоваться для поэтапного изучения основ распознавания типовых 2D фигур. В дальнейшем возможно его рассмотрение в качестве лекционных примеров.

### Литература

1. Кэлер А., Брэдски Г. Изучаем OpenCV 3 / пер. с англ. А.А. Слинкина. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 826 с.: ил.
2. «OpenCV modules» — URL: <https://docs.opencv.org/4.x/index.html> (дата обращения — 09.10.2022 г.).

*В.А. Матвеева, студ.; рук. Г.А. Бородин, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АМБУЛАТОРНОГО ОТОНЕВРОЛОГИЧЕСКОГО ПРИЁМА**

Головокружение входит в пять самых частых жалоб, с которыми пациенты обращаются на приёмах врачей разных специальностей. Вместе с тем, оно не является отдельным заболеванием, а всего лишь симптомом совершенно разных болезней [1], включающих патологию внутреннего уха, вестибулярного нерва, центров в головном мозге и нарушения чувствительности. В настоящее время анализ всех данных, полученных врачом, проводится им индивидуально. Для повышения точности и сокращения времени диагностики недуга крайне важно использовать программные средства для обеспечения автоматизации работы врача, обследующего пациента с головокружением. В связи с этим, целью проведённых исследований является создание приложения, интегрирующего результаты отоневрологических тестов с использованием очков Френзеля [2] при отоневрологическом приёме.

Для реализации поставленной задачи было подготовлено ТЗ на основе запросов врачей и разработана модель базы данных для облегчённой (Express) СУБД Oracle [3]. В базе данных предполагается хранить следующую информацию: сведения о пациенте, приёме, осмотре, проведённых инструментальных обследованиях и заключение. Предусмотрена автоматическая передача изображений из приложения VideoFrenzel. Реализация предложенных врачами алгоритмов диагностики и обработки результатов позволит автоматически готовить предварительный диагноз на основе жалоб и анамнеза данных обследования пациентов, опираясь на международные критерии вестибулярных расстройств общества Барани.

Реализация всех алгоритмов и разработка приложения были выполнены на объектно-ориентированном языке программирования С# [4] и компиляторе среды Visual Studio. Для проверки возможностей приложения подготовлена программа тестирования.

### **Литература**

1. Диагностика системного головокружения в амбулаторной практике. / Замерград, М.В. и др. — М.: Неврологический журнал. 2014. — Т.19, № 2 — С. 23–29.
2. Отоневрологическое обследование пациента с головокружением. / Пальчун, В.Т. и др. — М.: Вестник оториноларингологии., 2015. — Т. 80. № 5. С. 60–66.
3. **Фейерштейн, С., Прибыл, Б.** Oracle PL/SQL. Для профессионалов. 6-е изд. — СПб.: Питер, 2015. — 1024 с.
4. **Горелов, С.В.** Современные технологии программирования: разработка Windows-приложений на языке С#. В 2 т. Т. 1 — М.: Прометей, 2019 г. — 362 с.

А.Д. Семенова, соиск.;  
рук. В.А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ПИСЬМЕННЫХ ОТВЕТОВ СТУДЕНТОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В настоящее время все чаще используются различные платформы для тестирования студентов. Как правило, это тесты с выбором ответа. Для проверки письменных ответов преподавателю требуется достаточно много времени. Однако, этот процесс можно автоматизировать.

Автоматизация проверки письменных ответов в разрабатываемой системе заключается в сборе ответов на вопросы тестирования через приложение-клиент, а также в их обработке при помощи нейронной сети.

Нейронная сеть — математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Для решения задачи классификации (соотнесение формулировки ответа студента и балла) используется нейронная сеть.

Приведены общие сведения о нейронных сетях (понятия нейрона и синапса, функция активации, сходимость и обучение) [1]. Для построения модуля автоматизированной проверки ответов выбран многослойный персептрон, программная реализация выполнена на языке *Python*. Подробно описаны структура нейронной сети, алгоритм обработки текстовых ответов студентов, метрика для определения балла за ответ [2]. В результате обработки ответов формируется отчет в *Word* со



Рис. 1. Структурная схема модуля проверки текстовых ответов студентов

списком студентов, прошедших тестирование, и их оценок по пятибалльной шкале.

Ниже приведена схема модуля обработки текстовых формулировок автоматизированной системы проверки знаний студентов (рис 1).

### Литература

1. **Гафаров Ф.М.** Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. — Казань: Изд-во Каз. ун-та, 2018. — 121 с.
2. **Яхьяева Г.Э.** Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие / Г.Э. Яхьяева. — 2-е изд., испр. — М.: Интернет-Ун-т информ. технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 316 с.

Е.А. Пензина, студ.; рук. И.Н. Андреева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОСТРОЕННЫХ НА ФРАКТАЛАХ

Фрактальная графика на данный момент используется во многих областях человеческой деятельности. Актуальность работы обусловлена достоинствами фракталов, с помощью которых можно: уменьшать объем графической информации при сохранении качества; добиваться большей реалистичности изображения, что помогает моделировать сложные природные и технические объекты для их детализированного исследования [1].

Целью проведенных исследований является разработка приложения, позволяющего в режиме диалога с пользователем исследовать влияние изменения параметров на фрактальную поверхность, а также объединять несколько таких поверхностей для решения прикладных задач по улучшению количественных и качественных параметров синтезированной модели.

Для достижения этой цели были решены задачи:

- расширения существующей библиотеки фрактальных поверхностей редактора Fragmentarium на основе кривых: множество Жюлиа, фрактал Ньютона, кривая Леви, фрактал Хартера-Хейтуэя;
- исследования влияния изменения математических и пространственных параметров (Рис. 1) фрактальной поверхности на конечное изображение.

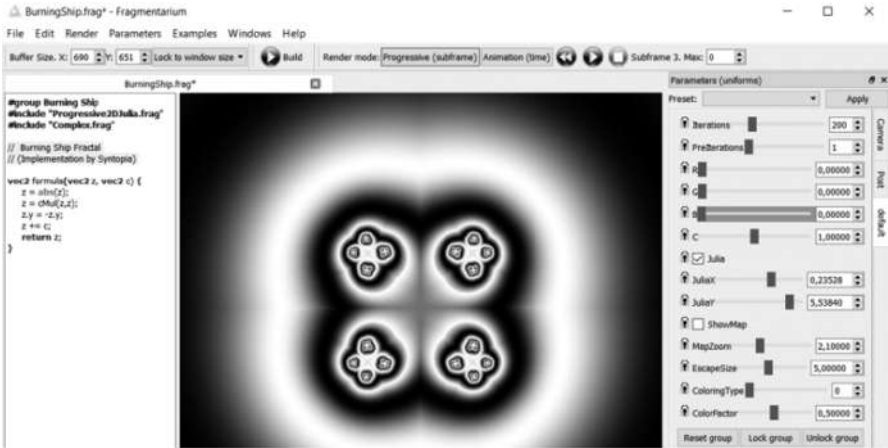


Рис. 1. Интерфейс программы Fragmentarium с окном параметров (справа)

### Литература

1. Никулин Е.А. Компьютерная графика. Фракталы: учебное пособие / Никулин Евгений Александрович. — СПб.: Лань, 2021. — 100 с.

*О.Н. Марчук, студ.; А.Г. Чернов, асп.;  
рук. В.А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА В ФОРМИРОВАНИИ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ**

Большинство алгоритмов, применяемых для обнаружения радиолокационной цели, были созданы и исследованы еще в середине прошлого века. В последнее время появилась тенденция к использованию более продвинутых методов. Среди них встречаются методы, пришедшие из различных областей информационных технологий: нейросетевые вычисления, муравьиные и генетические алгоритмы, эволюционное программирование [1].

В данной работе рассматривается возможность применения для обнаружения радиолокационных целей метода на основе преобразования Хафа [2], широко применяемого в компьютерном зрении.

Метод, построенный на базе преобразования Хафа, получил широкое применение при цифровой обработке изображений для нахождения заданных параметрически плоских кривых — прямых, окружностей, эллипсов. В радиолокации у подавляющего числа не маневрирующих целей траектория представляет собой прямую линию, поэтому данный метод оказывается вполне применимым. В данном исследовании была решена следующая задача: в наборе из отметок за  $N$  обзоров обнаружить все наиболее вероятные траектории.

В ходе решения поставленной задачи проведена адаптация данного метода к сфере радиолокации, реализован базовый метод обнаружения траектории, проведено тестирование и оценена эффективность. В результате были выявлены достоинства и недостатки данного метода, обозначены направления, требующие доработки.

### **Литература**

1. **Коновалов, А.А.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. — Ч. 1. — 164 с.
2. **Duda R.O., Hart P.E.** Use of the Hough to detect lines and curves in pictures // Communication ACM., 1972. — № 1.



Ю.Р. Аюпов, студ.;  
рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АЛГОРИТМ ИНДУКТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ CART, РЕАЛИЗУЮЩИЙ БИНАРНОЕ ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ

Современные системы интеллектуального анализа данных должны обрабатывать большие массивы информации. Обработка больших объемов данных требует использования алгоритмов индуктивного формирования понятий, или обобщения, поскольку такие алгоритмы позволяют выявлять скрытые закономерности в данных путем формирования логических правил. Когда обобщенные правила сформированы, появляется возможность классифицировать новые, ранее не рассмотренные примеры объектов, и относить их к определённому классу [1].

Различные алгоритмы обобщения позволяют формировать обобщенные правила в различной форме. Большой круг алгоритмов строит решающие правила в виде дерева решений. В данной работе исследуется алгоритм CART [2], разработанный Л. Бриманом. Работа алгоритма CART связана с построением бинарного дерева решений.

Перечислим основные преимущества алгоритма CART.

В каждой вершине дерева решений реализуется бинарное расщепление на основе критерия Gini.

Для сокращения построенного дерева решений используется специальный механизм отсечения (minimalcost-complexity tree pruning).

Алгоритм характеризуется высокой скоростью построения дерева решений за счёт бинарности. Помимо высокой скорости работы алгоритм характеризуется устойчивостью к выбросам и аномальным значениям, что существенно при работе с реальными массивами данных.

Была выполнена программная реализация алгоритма построения дерева решений и проведён машинный эксперимент. Реализованы механизмы сокращения построенного дерева решений. Результаты тестирования подтвердили, что алгоритм CART эффективно строит обобщенные описания классов объектов. Выполнено сравнение результатов обобщения с результатами, которые получены алгоритмами ID3 и C4.5.

### Литература

1. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2008.
2. L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, and C.T. Stone. Classification and Regression Trees. Wadsworth, Belmont, California, 1984.

*Д.П. Носач, студ.; рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМА ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ НАЛИЧИИ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ОКРУЖЕНИЯ**

Машинное обучение — это метод анализа данных для автоматизации построения аналитической модели, основанный на идее, что машины должны уметь учиться и адаптироваться к изменяющимся условиям. Смысл машинного обучения состоит в поиске и использовании нужных признаков для построения моделей, подходящих для решения правильно поставленных задач.

Решение задачи машинного обучения на основе нейронных сетей позволяет переложить большую часть задач приобретения новых знаний на самообучающуюся систему. Однако при таком подходе встаёт проблема недостатка и переизбытка данных, поступающих на обработку нейронной сети, а также правильности выбора датчиков и сенсоров в зависимости от поставленной задачи.

Цель работы — создать систему обучения нейронной сети для анализа обстановки при движении автоматического транспортного средства по заданной трассе.

Данная цель подразумевает решение ряда конкретных задач:

- создание моделей для обучения нейронной сети;
- выбор наборов сенсоров для передачи данных нейронной сети;
- обучение нейронной сети в различных комбинациях наборов сенсоров и окружения;
- анализ полученных статистических данных и извлечение закономерности.

Необходимо также изучить зависимость скорости обучения нейронной сети от предоставленных ей сенсоров и окружения.

В ходе исследования по данной проблеме создаются игровые модели, позволяющие продемонстрировать наглядность процесса и результатов обучения. В этих моделях предусмотрена возможность задавать различный набор датчиков «компьютерного зрения» или различные характеристики среды. Таким образом можно проверять, сколько поколений требуется для обучения нейронной сети и насколько быстро система справляется с заданием в зависимости от окружающих условий.

Для реализации поставленной цели используются язык прототипирования Python и открытые библиотеки TensorFlow и PyTorch, с помощью которых реализованы такие методы машинного обучения, как Q-обучение и обучение с подкреплением.

### **Литература**

1. **Флах П.** Машинное обучение. ДМК Пресс. — 2015.

*С.А. Ицкович, студ.;  
рук. Л.А. Старостина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОДАЖИ ИЗДЕЛИЙ РУЧНОЙ РАБОТЫ**

Крупнейшими платформами для продажи изделий ручной работы являются Etsy, Amazon Handmade и Ebay, но сейчас есть проблемы с их использованием.

На отечественном рынке из альтернатив есть Ярмарка мастеров и Flowwow. Первая не пользуется успехом среди молодежи, вторая в основном нацелена на продажу цветов.

Для создания веб-приложения, которое было бы визуально приятно и понятно, и где в качестве продавцов были люди, а не магазины, необходимо реализовать:

1. Визуальную часть приложения.
2. Добавить регистрацию для покупателей и продавцов.
3. У продавцов должен быть реализован дополнительный функционал, включающий в себя возможность просматривать личный кабинет с товарами.
4. При загрузке фотографий товара добавить проверку на категорию.
5. Сделать чат для общения с продавцом напрямую. О доставке и оплате договариваются покупатель и продавец.
6. Добавить фильтры по цене, материалам и т.д.
7. Страница об информации о продавце должна быть максимально подробной, чтобы покупатель мог доверять.
8. Возможность продавцов настраивать скидки в случае праздников.

Визуальная часть разрабатывается с помощью HTML, CSS и JavaScript.

Для реализации логики веб-приложения предполагается использовать язык Python и фреймворк Django [1]. Для ведения учета пользователей — базу данных PostgreSQL. Для распознавания изображений — библиотеку Python OpenCV [2].

### **Литература**

1. **Чан Уэсли, Биссекс Пол.** Django. Разработка веб-приложений на Python. М: Символ-Плюс, 2017.
2. Обнаружение и распознавание объектов в Python с помощью OpenCV. — URL: <https://pythonpip.ru/osnovy/obnaruzhenie-i-raspoznvanie-obektov-v-python-s-pomoschyu-opencv> — Дата публикации: 03 октября 2021.

*М.Р. Степанищева, студ.; рук. Д.В. Клюев, инженер;  
рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СВЧ УСТРОЙСТВ В САПР AWR DE С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА (API) НА ЯЗЫКЕ PYTHON**

Как любое новое научное направление, интегральные схемы СВЧ привлекают внимание молодых научных работников не только радиотехнических специальностей, но и студентов информационно-инженерных направлений с точки зрения оптимизации интегральных схем с помощью интегрированных сред разработки. Среда проектирования AWR Design Environment позволяет использовать программный интерфейс (API). API предоставляет неограниченные способы расширения возможностей программного обеспечения с помощью различных языков программирования. Подход API предоставляет множество преимуществ пользователям программного обеспечения AWR Design Environment, превращая программу в чрезвычайно мощную систему проектирования и анализа [1].

Современный этап научного развития характеризуется широким применением идей, методов и устройств радиоэлектроники. Процесс разработки СВЧ устройств занимает достаточно много времени. В таких случаях используется метод машинного проектирования. Он состоит из трёх этапов: моделирование, анализ, оптимизация.

В микроволновой технике такие устройства, как направленные ответвители, часто используются в качестве развязывающих устройств. Также ответвители нашли свое применение в радиопередающих устройствах. Как независимое устройство, они используются для суммирования и деления мощности. Направленные ответвители обычно являются частью более сложного устройства, в то же время в некоторых случаях необходимо улучшить характеристики устройства, поэтому на печатной плате используются различные конструктивные изменения [2].

В данной работе с применением API реализовано построение схемы направленного ответвителя в среде проектирования AWR Design Environment на языке программирования Python с использованием среды разработки PyCharm.

### **Литература**

1. AWR Design Environment, AWR API Scripting Guide, 2022.
2. **Wei-Shin Chang and Chi-Yang Chang**, "A high slow-wave factor microstrip structure with simple design formulas and its application to microwave circuit design," IEEE Trans, Microw, Theory Tech., vol. 60, no. 11, pp. 3376–3383, Nov. 2012.

*С.В. Петров, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.  
(ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары)*

## **СТРУКТУРА ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

Объектно-ориентированный подход является методом проектирования моделей физических объектов для реализации в программном коде.

Моделирование физических объектов есть процесс, результатом которого является искусственный образ физического объекта, процесса или явления [1]. Программная объектная модель есть отображение физического объекта в виде совокупности связанных программных блоков.

Основными парадигмами объектно-ориентированного подхода являются: абстракция, инкапсуляция, наследование, полиморфизм [2].

*Объектная модель физического объекта есть его абстрактное описание.* Абстрактное описание объектной модели состоит из наборов строго связанных данных и манипуляций над этими данными [2].

Данные называются атрибутами, манипуляции над данными — методами. Методы объектной модели предоставляют пользователю способы манипулирования ею и взаимодействия с другими моделями [3].

На основании объектно-ориентированных парадигм, к атрибутам и методам модели формулируются требования для синтеза модели объекта.

*Требования к атрибутам объектной модели для автоматизированного синтеза:* обязательность атрибута, значимость атрибута, однозначность атрибута, полнота атрибута, время существования атрибута, отсутствие скрытых свойств атрибута.

*Анализ моделируемого физического объекта, его поведения в совокупности с требованиями к атрибутам и назначаемой атрибутам семантики* формируют основу объектной модели. Следующий этап синтеза объектной модели определение методов, реализующих поведение физического объекта.

*Результатом процесса синтеза является множество связанных сущностей,* каждая из которых абстрактно описывает физические объекты, элементы объектов и их взаимодействие.

### **Литература**

1. **Антонов А.В.** Системный анализ. Учеб. Для вузов / А.В. Антонов. — М.: Высш. шк., 2004. — 454 с.
2. **Галанина Н.А., Петров С.В.** Объектно-ориентированный подход как основа моделирования элементов энергетических объектов / А.Н. Галанина, С.В. Петров // Информатика и вычислительная техника: сб. науч. тр. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2022. — 244 с.
3. **Weisfeld Matt A.** The object-oriented thought process / Matt Weisfeld. — 3rd ed. — Printed in the United States of America, 2008. — 347 p.

*А.С. Панин, студ.; рук. С.В. Литвинов, преп. (РТУ МИРЭА, Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ-АССИСТЕНТОВ ДЛЯ ПОМОЩИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВЫХ ТРАНСЛЯЦИЙ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ**

В современном мире активно развивается индустрия, связанная с проведением потоковых трансляций для проведения дистанционных занятий, а также для распространения развлекательного материала. Потоковое вещание в инфокоммуникационной сети интернет (стриминг) и стриминговые платформы постепенно набирают интерес как у всемирно известных компаний, так и у зрителей, которые ранее не знали что такое стриминг и никогда не пользовались подобными сервисами. Так, по данным стримингового Twitch, среднее количество посетителей с 150 тысяч в 2013 году выросло до 3 млн человек в 2022. [1]

Отдельное внимание заслуживает взаимодействие между зрителем и стримером — человеком, проводящий прямые трансляции в инфокоммуникационной сети интернет. Так, стримеру, помимо фокусирования на основной теме трансляции, необходимо отслеживать различные источники информации такие как чат, оповещения и т.п. В большинстве случаев трансляции проводится не на одной, а на нескольких платформах, то информация, требующая внимания растет в геометрической прогрессии, именно эту проблему решают программы-ассистенты, описанию разработке которой посвящен данный материал.

Для решения данной проблемы авторами разработана программа-ассистент. Основной функционал этой программы: агрегация и фильтрация информации из различных источников, взаимодействие с полученной информацией включая удаление, вывод стилизованной информации во время стриминга, взаимодействие со стриминговыми сервисами, фиксация информации для последующей обработки. Также программа позволяет вести различную статистику, например количество сообщений зрителя для последующего отображения самого активного зрителя на трансляции

Учитывая растущую популярность потоковых видеотрансляций, в том числе в развлекательных целях, спрос на программы-ассистенты также будет только расти, при этом разработка подобных программ достаточно трудоемкий процесс.

### **Литература**

1. TWITCH STATISTICS & CHARTS [Электронный ресурс]. URL: <https://twitchtracker.com/statistics> (дата обращения: 13.11.2022)

**Секция 15**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ,**  
**СЕТИ И СИСТЕМЫ**  
**Computing machines, networks, and systems**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Абросимов Леонид Иванович*

*Секретарь секции: к.т.н. Орлова Маргарита Андреевна*

*Н.Г. Бабак, асп.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ**

Чтобы заменить персональные данные (ПДн) и прочую конфиденциальную информацию на обезличенные [1] значения синонимическим алгоритмом необходимо сгенерировать синтетические данные. Генерация должна осуществляться по определённым правилам, а также при синонимической замене сгенерированные обезличенные сущности должны быть неотличимы от исходных данных.

В зависимости от типа данных и их предполагаемого использования существует несколько основных способов их генерации:

1. Формирование синонимичной сущности с помощью генератора псевдослучайных чисел и расчёта контрольных разрядов;
2. Замена значением из словаря с сохранением морфологических [2] особенностей текста;
3. Формирование заглушки на основе типа заменяемой сущности;
4. Размытие числа или даты в заданном диапазоне.

К правилам, на основе которых генерируется синтетическое значение, относятся тип и вид данных, морфологические особенности (род, число, падеж, часть речи), наличие контрольного разряда, алгоритм обезличивания. Например, при использовании в качестве алгоритма обезличивания маскирования в большинстве случаев достаточно генерации нескольких заглушек/плейсхолдеров. В то время как для синонимического обезличивания используются практически все перечисленные способы генерации синтетических данных.

Наибольшую сложность в структурированной информации представляют поля, содержащие несколько подтипов данных. Например, поле с клиентами может содержать как физических лиц — фамилия, имя, отчество, так и юридических лиц — полное или краткое название организации. В таком случае при генерации необходимо учитывать вид данных в каждой отдельной ячейке.

Также при генерации данных необходимо учитывать их формат записи и занимаемую длину, особенно для неструктурированной информации. Кроме того, одинаковые значения могут быть записаны в разном формате, что тоже необходимо учитывать, так как одинаковые значения при обезличивании следует заменять на одинаковые синтетические.

### **Литература**

1. **Приказ Роскомнадзора** от 5 сентября 2013 г. № 996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных».
2. **Korobov M.** Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages // *Analysis of Images, Social Networks and Texts*, pp. 320–332 (2015).



Э.А. Чельшев, студ.; рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕФЕРИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ

Накопленный человечеством объем данных неуклонно возрастает. Так, например, к 2025 году прогнозируемый объем данных составит уже 175 зеттабайтов [1]. По этой причине все более ощущается потребность в средствах автоматической обработки информации, в частности программных средствах и методах автоматического реферирования.

Реферированием текстов называется процесс подготовки реферата, то есть текста меньшего объема, чем исходный текст, позволяющего при этом понять суть излагаемого материала [2].

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа алгоритмов автоматического реферирования на примере русскоязычных текстов.

В работе рассматриваются следующие алгоритмы автоматического реферирования текстов: алгоритм Луна, TextRank, LexRank и LSA (англ. Latent Semantic Analysis, рус. латентный семантический анализ). С использованием каждого из методов были подготовлены рефераты ряда русскоязычных текстов. Качество полученных рефератов было оценено при помощи таких метрик, как расстояние Дженсена-Шеннона и косинусное расстояние [3]. В работе обосновывается выбор данных метрик, а также рассматриваются альтернативные способы оценки качества получаемых рефератов.

В данном докладе представлены результаты сравнительного анализа ряда методов автоматического реферирования применительно к текстам на русском языке с использованием таких метрик, как расстояние Дженсена-Шеннона и косинусное сходство.

### Литература

1. **Reinsel, D.** The Digitalization of the World / D. Reinsel, J. Gantz, J. Rydning. — 2018. — 28 с.: [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>. (Дата обращения: 11.10.2022).
2. **Батура, Т.В.** Методы и системы автоматического реферирования текстов / Т.В. Батура, А.М. Бакиева. — Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2019. — 110 с. — ISBN 978-5-4437-0974-1.
3. **Брюховецкий, А.А.** Модель обнаружения аномальных данных на основе информационного критерия / А.А. Брюховецкий // Дневник науки. — 2021. — № 4(52). — EDN UOQDOY.

*Д.К. Ярчук, студ.;*  
*рук. Л.И. Абросимов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ RADIUS-СЕРВЕРА**

Сегодня из-за большого роста различных сервисов возникает необходимость автоматизировать и централизовать процесс аутентификации пользователей. Это возможно благодаря таким технологиям централизованной аутентификации, как LDAP и RADIUS. Централизованное управление аутентификацией позволяет упростить обслуживание пользователей и привести к единообразию процесс аутентификации для разных приложений [1].

Аутентификация представляет из себя длительный процесс. При перемещении пользователя из одной зоны покрытия точки доступа к другой, данную процедуру необходимо проходить заново. При ошибках аутентификации могут происходить большие временные задержки.

LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) — это протокол, который используется для доступа к службе каталогов. LDAP использует стек протоколов TCP/IP и позволяет производить операции аутентификации, поиска и сравнения, а также операции добавления, изменения или удаления записей в базе данных служб каталогов. RADIUS (Remote Authentication in Dial-In User Service) — это протокол для реализации аутентификации, авторизации и сбора сведений об использованных ресурсах.

Для доступа к беспроводной сети пользователи должны пройти аутентификацию, предоставив свой логин и пароль. После отправки этих данных на точку доступа, происходит связывание точки доступа и RADIUS-сервера (или AAA-сервера). RADIUS-сервер производит обращение к LDAP-серверам для получения данных о пользователе. В зависимости от предоставленных данных RADIUS-сервер выдает разрешение к той или иной услуге.

В данной работе производится установка и настройка RADIUS-сервера в корпоративной сети МЭИ с учетом, перечисленных выше проблем. Производится сравнение скорости аутентификации пользователей при использовании одного и нескольких RADIUS-серверов.

### **Литература**

1. **Гольдштейн Б.С., Елагин В.С., Сенченко Ю.Л.** Протоколы AAA: RADIUS и Diameter. Книга 9. — БХВ-Петербург, 2011. — 352 с.

*О.П. Морозова, студ.; рук. М.А. Орлова, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАФИКА ПРИЛОЖЕНИЙ**

Проблема определения параметров сетевого трафика и выбора соответствующего класса обслуживания появилась уже давно и в настоящий момент все еще актуальна, так как от точности определения класса приложения зависит эффективность работы сети. Также является актуальной задачей выявления сетевых аномалий по параметрам трафика сетевых приложений. Методологии решения перечисленных задач постоянно обновляются: в связи с появлением и распространением технологий шифрования данных, а также возникновением новых типов трафика в сети, одни алгоритмы уходят в прошлое, так как больше не способны корректно классифицировать данные [1], а другие занимают их место.

В докладе представлен обзор современных методов анализа трафика [2–4], рассмотрены преимущества и недостатки каждой группы методов, а также определены нерешенные на данный момент проблемы и направления возможных научных исследований.

### **Литература**

1. **Jingjing Zhao, Xuyang Jing, Zheng Yan, Witold Pedrycz**, Network traffic classification for data fusion: A survey, *Information Fusion*, Volume 72, 2021, Pages 22–47, ISSN 1566-2535, <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.02.009>.
2. **G. Aceto, D. Ciunzo, A. Montieri and A. Pescapé**, “Mobile Encrypted Traffic Classification Using Deep Learning: Experimental Evaluation, Lessons Learned, and Challenges,” in *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 16, no. 2, pp. 445–458, June 2019, doi: 10.1109/TNSM.2019.2899085.
3. **Мухизи С., Пармонов А.И.** МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ И ПРИОРИТИЗАЦИИ ТРАФИКА В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ // Труды учебных заведений связи. 2019. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-klassifikatsii-i-prioritizatsii-trafika-v-programmno-konfiguriruemyyh-setyah> (дата обращения: 30.10.2022).
4. **Krasnova I.A., Mankov V.A.** Collection of Individual Packet Statistical Information in a Flow Based on P4-switch / Hu Z., Petoukhov S., He M. (eds) // *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics. CSDEIS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1127. Springer, Cham, — 2020. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39216-1\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39216-1_11)

*Д.В. Шибитов, студ.;*  
*рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННАЯ НА ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН**

В современных условиях все чаще возникает потребность в хранении и передаче данных, обеспечивая при этом безопасность при работе с информацией [1]. Одной из революционных технологий в данном направлении является блокчейн. Блокчейн представляет собой технологию, реализующую распределенное хранение данных в виде непрерывной последовательности блоков, взаимосвязанных с помощью хеширования [2].

Целью данной работы является создание распределенной системы хранения и передачи данных, реализующей основные концепции технологии блокчейн.

В рамках исследования была разработана осуществляющая хранение информации система, использующая механизмы, обеспечивающие безопасность и прозрачность процесса обмена данными. Для достижения этих целей был применен алгоритм консенсуса — доказательство работы (англ. proof-of-work), необходимый для подтверждения транзакций и верификации единой версии реестра во всех экземплярах. Данная система разработана на языке программирования Golang. Осуществлена оценка производительности системы, отражающая скорость проведения транзакций и объём передаваемых данных.

В данном докладе рассматривается создание распределенной системы хранения и передачи данных, реализующей основные принципы технологии блокчейн, продемонстрировавшие высокие показатели эффективности в ходе исследования.

### **Литература**

1. **Кейси М.** Эпоха криптовалют. Как биткоин и блокчейн меняют мировой экономический порядок / М. Кейси — «Манн, Иванов и Фербер», 2015.— 432 с. — ISBN 9785001007470.
2. **Прасти Н.** Блокчейн. Разработка приложений / Н. Прасти; пер. с англ. В. Яценкова. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 256 с.: ил. — ISBN 978-5-9775-3976-0.

*А.А. Гаврилов, С.Д. Блаженова, студенты; рук. С.В. Борисова, ст. преподаватель, А.Н. Зейн, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ИЗУЧЕНИЯ ЛЕКСИКИ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА С АЛГОРИТМАМИ ПОДБОРА ТЕКСТОВ ПО ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ПРЕДПОЧТЕНИЯМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

Большинство современных источников информации, как для технических, так и для гуманитарных областей, представлено в первую очередь на английском языке, поскольку английский язык является международным. Запоминание новой лексики является одной из самых важных задач в изучении языка, которое начинается в школе, где постоянно проводятся словарные диктанты, читаются и переводятся тексты. Для запоминания слов используются специальные тетради для записи новой лексики. Однако при использовании подобных методик поиск необходимого слова не совсем удобен.

Поэтому было решено разработать систему изучения английской лексики, состоящую из базы данных и web-приложения. Однако несмотря на то, что существует достаточно много аналогичных приложений для записи слов, отличительной особенностью данной системы является наличие интеллектуального рекомендательного модуля [1] подбора текстовых материалов из книг для чтения на основе изучаемых слов.

Данная система позволит добавлять новую лексику (слова, неправильные глаголы, фразовые глаголы, степени сравнения прилагательных), проходить различные тесты для ее запоминания, а также читать специально подобранные английские тексты с изучаемой лексикой для закрепления ее использования на практике.

Помимо всего вышеперечисленного, в данную систему было решено добавить режим изучения с учителем, который позволяет пользователю с правами «учителя» создавать группы пользователей «учеников», проводить для них словарные диктанты, подбирать тексты для чтения, отслеживать статистику групп и отдельных пользователей по изучению предоставляемой «учителем» лексики.

В дальнейшем планируется внедрить данную систему в образовательное учреждение для тестирования ее в реальных условиях, а также расширить ее до подбора не текстов, а целых книг и интернет статей по индивидуальным предпочтениям пользователей.

### **Литература**

1. **Фальк, К.** Рекомендательные системы на практике: руководство / К. Фальк; перевод с английского Д.М. Павлова. — Москва: ДМК Пресс, 2020. — 448 с. — ISBN 978-5-97060-774-9.

*Г.В. Беликов, асп.;*  
*рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СЖАТИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА**

Судоходство — одна из важнейших мировых отраслей. Контейнеровозы осуществляют львиную долю межконтинентальной транспортировки грузов. Траулеры добывают необходимые биоресурсы, а научные суда исследуют природные и климатические изменения. По всему миру ходят множество кораблей, поэтому всегда важно знать — где находится то или иное судно, что с ним происходит или произошло. Единственным способом связаться с судном в открытом море является передача данных через спутниковые системы и терминалы. Как и любая беспроводная сеть спутниковая связь достаточно ненадежный, и дорогой тип связи.

Решение задачи сжатия объема данных, передаваемых в одном пакете, понизит риски потери данных и уменьшит стоимость доставки, что улучшает помехозащищенность. Для решения этой задачи используются методы сжатия данных, учитывающие специфику данных, что позволяет как снизить размер передаваемого пакета, так и сократить число пакетов.

В настоящей работе проведен анализ нескольких методов сжатия данных, которые являются наиболее эффективными и лучше всего подходят для кодирования передаваемой информации. Для демонстрации достоинств и недостатков рассматриваемых методов разработано ПО, кодирующее и декодирующее данные посредством алгоритмов приведенных в [1]. Полученные результаты исследований приведены в докладе.

### **Литература**

1. **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. — М: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 384 с.

*В.А. Чумычкин, асп.; рук. Н.А. Галанина, д.т.н., проф.  
(ЧГУ им. И.Н.Ульянова, Чебоксары)*

## СИСТЕМА ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ В АРИФМЕТИКЕ МНОГОКРАТНОЙ ТОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ CUDA

Некоторые задачи цифровой обработки сигналов (ЦОС) требуют использования арифметики многократной точности. Наиболее быстрым средством для таких вычислений является библиотека GNU MP (GMP), но в ней отсутствует возможность многопоточного вычисления.

Существует несколько мультипроцессорных архитектур: CUDA, Xeon Phi, GPUFORT. В [1] показано, что система остаточных классов (СОК) позволяет эффективно распараллеливать базовые арифметические операции. В [3] предложен метод реализации арифметики многократной точности для мультипроцессорных архитектур на основе СОК и технологии CUDA, позволяющий повысить быстродействие. Для тестирования метода выбраны модули СОК, которые обеспечивают разрядность от 64 до 6400 бит. Сравнение времени выполнения операций умножения и деления двух массивов в СОК и GMP представлены на рис. 1 и рис. 2.

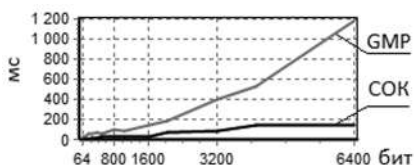


Рис. 1. Умножение в СОК и GMP

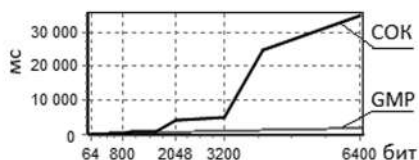


Рис. 2. Деление в СОК и GMP

Для модульных операций СОК имеет существенное преимущество, до 7,92 раз по сравнению с GMP. Вычисление немодульной операции деления в СОК происходит значительно медленнее, т.к. не может выполняться параллельно [2]. Наиболее оптимальным выглядит комбинирование методов на основе СОК и GMP, в зависимости от типа операций.

### Литература

1. Чумычкин В.А., Галанина Н.А. Разработка алгоритма быстрого преобразования Фурье в системе счисления в остаточных классах для реализации на программируемых логических интегральных схемах // Вестник ПГТУ. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. — 2021. — № 2(50). — С. 54–62.
2. Чумычкин В.А., Галанина Н.А. Эффективные алгоритмы масштабирования степенью двойки в системе остаточных классов // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы XIII всерос. науч.-техн. конф. — Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2022. — С. 247–248.
3. Isupov K. High-performance computation in residue number system using floating-point arithmetic // Computation. — 2021. — Vol. 9. — No 2. — P. 1–15.

*А.С. Горбунов, асп.; рук. М.К. Чобану, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОРМАТЕ RGB**

Использование спектральных данных имеет место во многих областях деятельности, требующих точной оценки света и цвета в снимаемой сцене. Для точного определения цветовых характеристик используется понятие спектральной плотности излучения (SPD); она равна отношению интенсивности излучения в узком частотном интервале к величине этого интервала. Обычно, и в частности в данной работе, используется представление из 31 значения SPD для частотных интервалов, соответствующих интервалу длины волны в 10 нм в видимом диапазоне.

Цель работы — построение алгоритма, который, имея значение RGB, мог бы быстро отыскать соответствующий набор спектральных данных.

Для определения возможности решения задачи для конкретного набора RGB были реализованы инструменты для работы со спектральным локусом [1]. Были установлены и отрисованы спектральные локусы для функций цветопередачи CIE1931 и CIE1964, а также для 28 функций цветопередачи реальных камер. Также был подготовлен расширенный набор спектральных характеристик для 30-ти различных источников освещения.

В качестве основы для алгоритма были взяты методы восстановления спектральных данных, предложенные Скоттом Бёрнсом [2]. Определены два метода, показавшие наилучшие результаты при восстановлении спектра: LLSS и LHTSS. Предложена модификация алгоритмов, позволяющая при сохранении точности добиться уменьшения времени выполнения. Также предложены следующие улучшения, которые можно применить во время реализации:

- так как расчёт для одного пикселя не зависит от содержания соседних, можно организовать параллельные вычисления;
- использование GPU: благодаря наличию множества вычислительных ядер, возможно значительное ускорение;
- предобработка: выбирая уникальные наборы трехстимульных значений и проводя реконструкцию только для них, можно существенно снизить общую сложность и объём задачи.

### **Литература**

1. **Kroshnin A. et al.** On the properties of some low-parameter models for color reproduction in terms of spectrum transformations and coverage of a color triangle // *JOSA A.* — 2022. — Т. 39. — №. 3. — С. 452–458.
2. **Burns S. A.** Numerical methods for smoothest reflectance reconstruction // *Color Research & Application.* — 2020. — Т. 45. — №. 1. — С. 8–21.



*И.В. Гиль, студ.; рук. В.Ю. Харитонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА RAYCASTING ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЪЕМНОГО РЕНДЕРИНГА**

Программное обеспечение, предназначенное для визуализации трехмерных объектов, является востребованным в наше время. Трехмерная графика используется в научной визуализации, медицине, автопромышленности и т.д. Объемный рендеринг — это совокупность методов визуализации, реализующих представление дискретного трехмерного набора данных в виде проекции на дисплей.

В качестве трехмерных данных могут быть использованы снимки МРТ или КТ [1]. Такое программное обеспечение, как, например, авиасимулятор или САПР, задействует объемный рендеринг для симуляции тумана, дыма, облаков [2] и других процессов. Данные для симуляции упомянутых процессов представляют из себя трехмерную сетку из значений, сгенерированных с помощью алгоритмов генерации шума. Самыми популярными алгоритмами генерации шума для объемного рендеринга являются: Perlin, Worley, Simplex. В данном докладе рассмотрено применение объемного рендеринга, а также алгоритмы визуализации дискретного трехмерного набора данных. В качестве платформы для внедрения объемного рендеринга было разработано программное обеспечение на языке C++ для операционной системы Windows. Для задействования аппаратного ускорения графики был использован программный интерфейс OpenGL 4.4. Алгоритм raycasting реализован на языке GLSL.



**Рис. 1.** Визуализация 3D текстуры, сгенерированной с помощью алгоритма OpenSimplex2

### **Литература**

1. **Симонов Е.Н., Аврамов Д.В., Аврамов М.В.** Метод объемного рендеринга для визуализации трехмерных данных в рентгеновской компьютерной томографии // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2016.
2. **Haggstrom F.** Real-time rendering of volumetric clouds [Electronic resource]. — Electronic data. — Режим доступа: <http://umu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223894/FULLTEXT01.pdf>, ноябрь 2022 г.

*Е.А. Павлов, студ.; рук. А.Ф. Крюков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПРЕПОДАВАНИЯ**

В настоящее время в России проявляется интерес к системам оценки преподавания, обусловленный потребностью в расширении показателей качества образования и модернизации системы государственного контроля качества услуг, которые предоставляют высшие учебные заведения. Такие системы активно используются в некоторых высших учебных заведениях Москвы.

В докладе описываются особенности разработки автоматизированной системы создания и проведения опросов с использованием веб-технологий.

Структура системы включает в себя следующие составляющие.

- Страницу регистрации: с помощью предоставленного студентам уникального идентификатора проводится вход в систему. Преподавателям предоставлен доступ в систему для просмотра результатов опроса.
- Опросный лист для студентов, включающий в себя вопросы по учебным дисциплинам и ведущим их преподавателям.
- Отображение результатов опроса в виде таблиц, графиков и диаграмм.
- Панель администратора для создания и редактирования опросов.
- Модерируемый форум для общения студентов и обмена мнениями о конкретном преподавателе или дисциплине.

Клиентская часть системы состоит из пользовательского интерфейса, созданного с помощью Javascript-библиотеки React, которая позволяет наиболее эффективно взаимодействовать с серверной частью. Серверная часть, написанная на программной платформе Node.js, включающей в себя библиотеки для сбора и обработки данных, поступающих с клиентской части. Хранение данных о результатах опросов осуществляется в базе данных под управлением СУБД MongoDB, которая используется для более простого способа работы с данными и лёгкости масштабирования.

Проведение оценки преподавания рекомендуется проводить каждый учебный семестр. Студент количественно оценивает дисциплины и работу преподавателей, после чего собирается статистика по той или иной дисциплине. Эта статистика отображается только для преподавателей и руководства.

Результаты опроса рассматриваются руководством институтов и, с учётом результатов успеваемости, принимаются решения по поводу корректировки учебных планов с целью повышения качества образования.

*Д.А. Шамшурин, Н.А. Писклов, студенты;  
рук. А.Г. Исавнин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

## **СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ JAVA И KOTLIN В МОБИЛЬНОЙ РАЗРАБОТКЕ ДЛЯ ANDROID УСТРОЙСТВ**

Операционная система Android занимает 69,74% [1] рынка мобильных устройств на начало 2022 года, и, соответственно, все ещё занимает лидирующую позицию. Для того, чтобы удержать преимущество, компания Google активно улучшает инструменты для упрощения работы разработчиков и улучшения качества приложений. Одним из таких инструментов является язык программирования Kotlin. Изначально все мобильные приложения писались на языке Java, но с мая 2017 года Google объявила официальную поддержку Kotlin в среде разработки Android Studio и новый язык быстро набрал популярность. 23.11.2022 нами была собрана статистика упоминаний Kotlin и Java в вакансиях с сайта поиска работы HeadHunter [2] по всей России. Упоминания вакансий с ключевыми словами только Android и Kotlin составляет 26%, а упоминания с ключевыми словами Android и Java 25%. При этом 49% вакансий имеют упоминания и о Java, и о Kotlin.

Основные преимущества Kotlin перед Java:

1. Исходный код, написанный на Kotlin более лаконичен, чем на Java, что упрощает поддержку проектов.
2. В Java всем переменным, кроме примитивных, можно присвоить пустое значение, что часто вызывает ошибки только после запуска приложения. В Kotlin такая возможность имеется, но её нужно объявить для каждой переменной и каждый раз обрабатывать работу с пустым значением.
3. В Kotlin поддержка асинхронности и параллельных вычислений воплощена в виде корутин [3]. В инструментах разработки Android корутины используются для автоматизации реализации параллельных вычислений, что сильно упрощает разработку.

Все приведенные преимущества и поддержка со стороны Google способствуют переходу разработчиков на Kotlin

### **Литература**

1. Технический журнал 3dnews. URL: [bit.ly/3U6MFEZ](http://bit.ly/3U6MFEZ). (Дата обращения: 23.11.2022)
2. Сайт для поиска работы HeadHunter. URL: <https://kazan.hh.ru>. (Дата обращения: 23.11.2022).
3. Техническая документация от Google. URL: <https://developer.android.com/kotlin/coroutines>. (Дата обращения: 23.11.2022).

*Д.А. Ершов, М.С. Ершова, аспиранты; руководители Д.А. Орлов, к.т.н., доц.; М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОСТИ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ**

Определение видимости отдельных объектов и частей сложных трехмерных сцен является неотъемлемой частью процесса визуализации в реальном времени. От быстродействия и точности этапа определения видимости зависит эффективность процесса визуализации в целом.

Современные системы визуализации выполняют определение видимости с помощью различных подходов, отличающихся своей гранулярностью [1]. Их комбинирование позволяет не только получить информацию о видимости отдельных треугольников, но и отсеять множество объектов, которые не вносят своего вклада в очередной кадр визуализации. Природа таких вычислений позволяет выполнять их без использования графического конвейера графических процессоров (GPU). Это в том числе означает, что подобные вычисления могут выполняться параллельно.

Современные центральные процессоры (CPU) часто обладают встроенным GPU, отличающимся меньшей вычислительной мощностью, в сравнении с дискретными GPU. Встроенные GPU могут использоваться для вычислений общего назначения (GPGPU), уменьшая нагрузку на дискретный GPU, осуществляющий визуализацию.

В рамках исследования мы рассмотрели различные подходы определения видимости и разработали собственный алгоритм динамической организации вычислений в рамках инструментария визуализации на базе API Vulkan, позволяющего использовать множественные GPU. С помощью инструментария была разработана опытная реализация существующих методов отсечения с распределением нагрузки между встроенным и дискретным GPU. Ключевым аспектом для реализации стало представление этапов визуализации и зависимостей между ними с использованием ациклического графа [2].

### **Литература**

1. **Akenine-Moller T., Haines E., Hoffman N., Pesce A., Iwanicki M., Hillaire S.** Real-Time Rendering, Fourth Edition — A K Peters/CRC Press, 2018. — 1198 pg. — ISBN-13: 978-1-1386-2700-0
2. **Wihlidal G.** Halcyon Architecture URL: <https://media.contentapi.ea.com/content/dam/ea/seed/presentations/wihlidal-halcyonarchitecture.pdf> (дата обращения: 21.11.2022)

*Е.А. Филина, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ**

В настоящее время в государственных и коммерческих организациях большое внимание уделяется цифровизации технологий, применяемых при сборе, обработке и анализе больших информационных массивов, в том числе big data (большие данные). Особую роль указанные процессы приобретают в рамках работы по оценке эффективности выполнения той или иной задачи. Объектом исследования в данной работе является государственная структура управления. Цель исследования — показать необходимость развития и совершенствования архитектуры прикладных программных систем, в части автоматизации процессов по оценке эффективности, что позволит своевременно и качественно решать задачи по оценке инвестиционного климата в Москве и Московской области, а также вырабатывать новые механизмы и инструменты по его стимулированию.

В некоторых государственных структурах для сбора оперативных статистических данных используется модуль системы BPM (Business Process Management System) ELMA, который направлен на автоматическую консолидацию ежедневных данных о результатах применения инструментов, направленных на поддержку бизнеса, в том числе инновационной отрасли. Данный модуль позволяет вести мониторинг оперативных показателей и создавать дашборды по более чем 50 инструментам и 400 показателям, что снижает трудозатраты аналитических отделов на 25%. Процесс разработан на базе интернет-сайта таким образом, что все исполнители одновременно могут вносить данные в разделы по своей компетенции, а общая сводная таблица формируется у заказчика процесса автоматически при каждом обновлении.

Однако данный модуль не позволяет в автоматическом режиме рассчитать эффективность действующего инструментария. Для этого необходимо разработать процессы имплементации определённых данных из других государственных информационных систем, и их включение в расчет эффективности по соответствующей методологии. Внедрение такого модуля позволит определить экономический эффект от применяемых мер поддержки, целесообразность их внедрения, а также поможет исключить возможность технической ошибки при ручной обработке данных и снизит временные затраты на обработку и получение данных, что положительно скажется на организации всего процесса оценки эффективности инвестиционного климата в Москве и Московской области.

*Е.О. Успенская, студ.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В СФЕРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

Исследование применения технологии блокчейн в различных областях — одна из наиболее актуальных тем последнего времени. Новейшие разработки на основе блокчейна уже используются в таких областях, как финансовые операции, идентификация пользователей, регистрация и верификация данных, кибербезопасность, а также актуальны для банковских учреждений и государственных организаций [1].

Наиболее интересным для рассмотрения объектом данной технологии являются токены. Токен — это единица учёта, не являющаяся криптовалютой, предназначенная для представления цифрового баланса в некотором активе, иными словами, выполняющая функцию «заменителя ценных бумаг» в цифровом мире [2]. Токены представляют собой запись в регистре, распределенную в блокчейн-цепочке. Невзаимозаменяемый токен (NFT) позволяет фиксировать уникальное право на владение объектом в цифровом формате (изображение, песня, документ, видео и тд.) так же, как в реальной жизни мы защищаем свое право собственности на материальное имущество путем внесения записи в государственные реестры [3]. Сейчас основная сфера применения NFT — предметы искусства, но благодаря своим свойствам токены могут быть использованы во многих других сферах.

Целью данной работы является исследование применения технологии блокчейн в области защиты авторских прав и разработка инструмента для реализации этой задачи.

В представленной статье описывается разработка WEB-платформы для создания невзаимозаменяемых (уникальных) токенов из файлов, загружаемых пользователями с личных устройств. Таким образом, авторы, загружая объекты интеллектуальной собственности, могут подтвердить свое авторство и право на владение этими объектами.

### **Литература**

1. **Говейко С.Н.** Технология блокчейн: новые возможности // Достижения науки и образования. 2018. № 15(37). С. 36–37.
2. Blockchain: The Invisible Technology That's Changing the World [Электронный ресурс] / URL: <https://www.pcmag.com/news/blockchain-the-invisible-technology-thats-changing-the-world> (дата обращения: 24.11.2022).
3. Что такое NFT-токены и как их можно использовать? [Электронный ресурс] / URL: <https://mir24.tv/articles/16503511/chto-takoe-nft-tokeny-i-kak-ih-mozhno-ispolzovat> (дата обращения: 25.11.2022).

*М.Д. Новичков, асп.;*  
*рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕННОГО ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ**

Высокоточные вычисления необходимы для большого количества задач (вычислительная геометрия, обработка сигналов) [1]. Использование высокоточных вычислений ведёт к значительному увеличению времени решения задач. Таким образом, необходимо распараллеливание арифметических операций, что традиционная позиционная система счисления не допускает. Для представления чисел с такими свойствами наиболее распространённо использование системы остаточных классов (СОК) [2]. Она позволяет распараллелить сложение, вычитание и умножение чисел. Поэтому применение системы остаточных классов будет эффективно только для алгоритмов, содержащих минимальное количество операций сравнения и операций деления, которые в данной системе трудоёмки [3].

В данной работе предлагается подход к ускорению метода деления [4] за счёт введения аппаратной избыточности. Проведено исследование метода SRT [5] и метода [4]. Было выполнено сравнение их возможных аппаратных реализаций при разных разрядностях данных и конфигурации функциональных схем, реализующих методы устройств. С помощью автоматных имитационных моделей определялись конфигурации, при которых деление в СОК будет как можно ближе по времени выполнения деления методов SRT. Была также исследована зависимость времени выполнения операции деления от количества модулей СОК и их разрядности.

### **Литература**

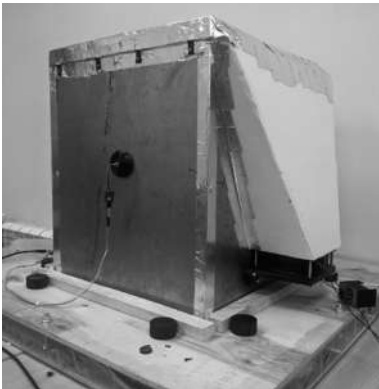
1. **D.H. Bailey, R. Barrio and J.M. Borwein**, “High-precision computation: Mathematical physics and dynamics,” *Appl. Math. and Computation*, 218 (2012), 10106–10121.
2. **Лебедев Е.К., Галанина Н.А., Давыдов О.Е., Егоров Г.Е.** Методы синтеза цифровых фильтров в системе остаточных классов // *Вестник Чувашского университета*. 2000. № 3–4. С. 145–156.
3. **Акушский Н.Я., Юдицкий Д.И.** Машинная арифметика в остаточных классах, М. “Советское радио”, 1968. — 440 с.
4. **Новичков М.Д., Орлов Д.А.** Анализ методов реализации арифметической операции деления в системе остаточных классов. // *Материалы IV Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования»* (23–26 октября 2018 г., Москва) — М.: Издательство МЭИ, 2018 — с. 160–163.
5. **J. E. Robertson**, “A new class of digital division methods,” *IRE Trans. Electronic Computers*, vol. EC-7, pp. 218–222, Sept. 1958.

*Д.Р. Пчельников, А.Р. Дятчин, С.М. Хомутков,  
И.Д. Родюков, студенты;  
рук. В.Я. Губарев, к.т.н., проф. (ЛГТУ, Липецк)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКА 3D ПЕЧАТИ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАЩИТНОГО КОЖУХА**

При использовании ABS пластика для изготовления деталей важным аспектом является отсутствие каких-либо движений воздуха, исключая конвективный подъем горячего воздуха от стола принтера. Также при нагреве пластика выделяется газ акрилонитрил, имеющий 2 класс опасности АХОВ [1].

Для предотвращения дефектов печати и выделения вредного вещества предлагается использование герметичного кожуха из тонкой листовой стали. При его использовании требуется выполнение некоторых условий: температура наружной поверхности кожуха не должна превышать 45° в связи с требованиями техники безопасности, температура внутреннего воздуха не должна превышать 80° в связи с пределом рабочей температуры электродвигателей.



Поскольку математическое моделирование в данной ситуации затруднено, была построена экспериментальная установка для получения зависимостей указанных выше температур от времени. Рассматривались различные варианты исполнения кожуха: как без обдува снаружи, так и при его наличии.

По результатам экспериментов было установлено, что при отсутствии обдува происходит выход на стационарный тепловой режим через 5 часов работы, температуры кожуха и воздуха составляют 43° и 88° соответственно. В случае установки про-

дольного обдува крышки температура воздуха снижается до 76 градусов, а в случае перпендикулярного обдува — до 70 градусов. Дополнительная электрическая мощность для вентилятора обдува — 20 Вт. Таким образом, применение герметичного кожуха является допустимым и обоснованным.

### **Литература**

1. **Клейменов, В.В.** Технологии и материалы 3D-печати для запасных частей производственного оборудования // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VIII международной научно-практической конференции, — Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. — С. 125–128.



*А.Д. Лебедев, А.А. Курушкина, студенты;  
рук. А.Н. Зейн, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ**

Научно-исследовательская деятельность, которая постоянно ведётся во всех институтах МЭИ, зачастую требует участия специалистов разных сфер и профилей. Однако процедура поиска сотрудников в команды для проведения научно-исследовательских работ в данный момент занимает много времени и неэффективна.

Для решения этой проблемы была предложена система, которая основывается на базе данных, содержащей названия статей, докладов для конференций, НИР и НИОКР сотрудников. После получения на вход темы научной работы (задачи) система должна провести морфологический и синтаксический анализ имеющейся информации для сопоставления темы и компетенций сотрудников и составить рейтинг наиболее подходящих кандидатов. Было предложено несколько способов для проведения такого сопоставления.

В первом способе система разбивает названия работ сотрудника на слова, формируя словарь, которым можно охарактеризовать компетенции данного сотрудника. Из этих слов выделяется основа путём отсечения окончания. При поступлении новой задачи её текст проходит ту же процедуру. После чего происходит сопоставление набора слов в задаче и словаря каждого сотрудника. Данный способ осуществляется на основе MS SQL Server, что позволяет производить обработку данных непосредственно в месте их хранения и тем самым осуществлять подбор рекомендаций достаточно быстро. Однако, использование исключительно языка T-Sql лишает возможности использовать более сложные методы морфологической обработки и анализа, которые бы учитывали формы слов, синонимичные слова и словосочетания.

Второй способ подразумевает использование методов машинного обучения и нейронных сетей (например, технологию Word2Vec [1, 2] для получения векторных представлений слов на естественном языке), что позволяет получить значительный прирост в качестве подбора, но тем не менее замедляет его в сравнении с первым методом.

### **Литература**

1. **Е.А. Черепков, С.А. Глебов.** Использование модели Word2Vec для кластеризации больших текстовых данных // Научное обозрение, 2017, № 3, С. 21–24. Режим доступа: <https://scienceengineering.ru/pdf/2017/3/1170.pdf>

*Н.А. Писклов, Д.А. Шамшурин, студенты;  
рук. А.Г. Исавнин, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

## **ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОГО ПАТТЕРНА MODEL-VIEW-INTENT В РАЗРАБОТКЕ ПРИЛОЖЕНИЙ**

В наши дни разработка приложений стала повсеместной. Существует огромное количество микросервисов, супераппов, банковских приложений и электронных справочников. Однако создавать все приложения, основываясь на один и тот же архитектурный подход, не выгодно.

В мобильной разработке и разработке сайтов стал популярен архитектурный паттерн Model-View-Intent (MVI). Особенность этого паттерна заключается в том, чтобы объявить все состояния экрана в одном программном интерфейсе и при изменении данных, либо при обратной связи пользователя обновлять информацию на экране на основе переданного состояния. Такой подход дает множество преимуществ:

1. Структурность кода. Необходимые методы привязаны к определенному состоянию и снижается риск ошибки разработчика.
2. Упрощение тестирования пользовательского интерфейса. Так как обновление экрана происходит только посредством состояний, то разработка тестов становится крайне предсказуемой.
3. Обеспечение безопасности потоков. MVI паттерн не предусматривает прямое взаимодействие с объектами бизнес-логики, поэтому, в теории, непредвиденное изменение данных невозможно.

Однако есть существенный недостаток — высокая сложность работы с динамическим интерфейсом. Каждое изменение интерфейса необходимо обработать отдельным состоянием.

Таким образом MVI паттерн является быстрым и стабильным подходом к разработке приложений со статичными экранами, но долгим и неэффективным при разработке приложений с множеством динамических функций.

### **Литература**

1. Электронный учебник Kodeco. URL: <https://www.kodeco.com/817602-mvi-architecture-for-android-tutorial-getting-started> (Дата обращения 26.11.2022).
2. Личный блог Ханса Дорфманна. URL: <http://hannedorfmann.com/android/model-view-intent/> (Дата обращения 26.11.2022).

*Д.К. Рахманов, студ.; рук. М.А. Орлова, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СЕТЯМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

С ходом развития человечества росла необходимость в быстрой передаче информации между людьми. На текущий момент тенденция в росте скорости передачи данных сохраняется. Передача информации оказывает всё большее влияние на все сферы деятельности. Компьютерные сети позволяют мгновенно обмениваться информацией на любых расстояниях. Рост количества персональных компьютеров за последние несколько десятков лет поспособствовал ускоренному развитию промышленности, науки и образования, изменил ход ведения бизнеса. Столь же весомое влияние на изменения оказывает развитие технологий передачи данных и информационных сетей.

Проект доклада направлен на изучение потенциалов развития технологий передачи данных по сетям электроснабжения внутри локальной энергосистемы, а также по сетям электроснабжения общего пользования.

В рамках исследования будут изложены общие принципы построения и функционирования сетей электроснабжения, а также принципы передачи информации по каналам связи, особенности и необходимость применения помехоустойчивых систем передачи, систем основанных на принципе несущего сигнала. Будет представлена самостоятельно разработанная схема обеспечения функционирования сети передачи данных по сетям электроснабжения различных напряжений, возможности внедрения в обозримом будущем, а также план мероприятий направленный на внедрение технологии. Будут рассмотрены имеющиеся на текущий момент разработки в данной области, их недостатки и актуальность.

В дальнейшем применение технологий передачи данных по сетям электроснабжения и их развитие должно снизить нагрузку на сети передачи данных основанных на иных технологиях и средах распространения, что при общей тенденции роста объема передаваемых данных положительно повлияет на распределение нагрузки между сетями.

### **Литература**

1. **Голиков** Кодирование в радиолетронных системах передачи информации 2018.
2. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы 2020.
3. **Варгаузин В.А., Цикин И.А.** Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учеб. Пособие 2013.
4. **Герасименко А.А.** Электроэнергетические системы и сети 2005.

**Секция 16**  
**УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ**  
**ТЕХНОЛОГИИ**  
**Control and intelligent technologies**

---

*Председатель секции: к.т.н. Мохов Андрей Сергеевич*

*Секретарь секции: Гребенщиков Николай Ильич*

*О.В. Трутнева, студ.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

В настоящее время обеспечение кибербезопасности автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) цифровой подстанции (ЦПС) является крайне актуальной проблемой, поскольку предприятия электроэнергетики активно переходят к цифровой связи на подстанциях, являющейся ключевым компонентом планов модернизации электросетей и вместе с тем значительно повышающей уязвимость АСУ ТП к кибератакам.

В результате исследования структуры ЦПС выявлены дополнительные по отношению к традиционной подстанции киберугрозы. Таковыми являются вмешательство в работу шины процесса и атака синхронизации времени [1].

Для достижения надежности работы АСУ ТП необходимо искать баланс между обеспечением надежной защиты информации и эффективным функционированием системы управления. Для этого были определены все информационные ресурсы ЦПС и проведена их классификация. Также была построена модель актуальных киберугроз АСУ ТП цифровой подстанции. Все это позволило провести оценку уровней риска реализации киберугроз для АСУ ТП ЦПС [2]. В результате которой определены наиболее критически важные информационные ресурсы на ЦПС: сетевые потоки данных и информация, обрабатываемая программным обеспечением.

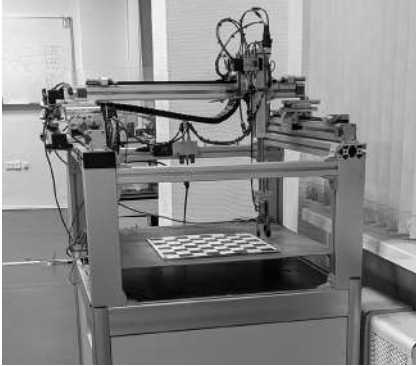
Предложено комплексное решение по обеспечению безопасного функционирования АСУ ТП цифровой подстанции в рамках существующей нормативной документации, которое включает конкретные меры по трем направлениям — технического, программного и организационного обеспечения.

### **Литература**

1. Анализ кибербезопасности цифровой подстанции с позиций киберфизической системы / Колосок И.Н., Коркина Е.С. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2019. — № 3. — с. 121–131.
2. Савин А.С. Методы обеспечения информационной безопасности предприятия: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / А.С. Савин; Рос. экон. акад. им. Г.В. Плеханова — Москва, 2015. — 28 с.

*А.С. Федоров, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА «ШАШКИ» НА БАЗЕ ДВУХКООРДИНАТНОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ПРИВОДА**



**Рис. 1.** Вид стенда «Шашки»

В наши дни все чаще и чаще применяется практика замены человеческого труда на рабочем месте компьютеризированными автоматическими устройствами и системами, что в некоторых случаях значительно повышает точность выполняемых работ, а также их стоимость. Поэтому необходима специальная тренировка умений, чтобы обучать людей управлению и программированию таких систем. Эту проблему позволяют решить учебные стенды, пример которых представлен на рисунке 1.

Данный стенд позволяет наглядно продемонстрировать работу автоматической системы, что позволит обучать специалистов работе с автоматической системой.

В ходе работы был разработан алгоритм управления и написана программа управления в ПО Simatic Step 7 для контроллера Siemens CPU313C-2 DP с аналоговым модулем 334-0CE01-0AA0. Также была разработана Scada — система, которая отображает работу станции. Сам же учебный стенд «Шашки», представленный на рисунке 1, состоит из исполнительных элементов и датчиков компании FESTO, которые подключаются к контроллеру. Все привода являются пневматическими и управляются пневмораспределителями с электромагнитами.

### **Литература**

1. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ STEP7 LAD и FBD, Издание 2-е переработанное, 2001.

*Сюэчунь Ван, асп.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

В последнее время появилось большое число публикаций о применении нейронных сетей (НС) с обратными связями для моделирования и управления динамическими объектами. Актуальность этого обусловлена необходимостью работы с динамическими объектами с запаздыванием и различной степенью нелинейности. Целесообразно рассмотреть и систематизировать архитектуры и примеры применения НС с обратными связями в различных прикладных задачах с целью выявления наиболее перспективных подходов.

НС с обратными связями могут иметь классическую архитектуру (RNN), а также использовать ячейки LSTM и GRU. Такие НС обучаются с помощью метода ВРТТ и они могут повторять поведение динамических объектов. Это даёт мощный инструмент не только для моделирования динамических объектов, но и для синтеза регуляторов.

Например, НС с обратными связями в качестве модели удалённого объекта используется для управления умным устройством с идентичным транспортным запаздыванием в канале управления и наблюдения [1]. НС со структурой GRU используется для моделирования процесса нейтрализации рН с сильной нелинейностью и большими запаздыванием [2]. Адаптивный НС-регулятор, основанный на структуре RNN, применяется для подавления круглых колебаний, влияющих на скорость и точность позиционирования привода двигателя [3]. В работе [4] рассмотрено использование НС со структурой LSTM для оптимизации регулятора и реализации управления электронным корпусом дроссельной заслонки.

Отмечены достоинства и недостатки рассмотренных примеров применения НС с обратными связями. Предложена перспективная архитектура НС-регулятора динамическим объектом с запаздыванием.

### **Литература**

1. **Nonomura T, Fujii F.** Design of Two DOF digital servo system with RNN-based dynamic state predictive control for network control systems with large delays[C] // 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). IEEE, 2022: 944–949.
2. **Bonassi F, Fabio C, da Silva O, et al.** Nonlinear MPC for offset-free tracking of systems learned by GRU neural networks. IFAC-PapersOnLine, 2021, 54(14): 54–59.
3. **Kamiński M, Szabat K.** Adaptive control structure with neural data processing applied for electrical drive with elastic shaft[J]. Energies, 2021, 14(12): 3389.
4. **D'Amico W, Farina M, Panzani G.** Advanced control based on recurrent neural networks learned using virtual reference feedback tuning and application to an Electronic Throttle Body. arXiv preprint arXiv:2103.02567, 2021.

*Г.А. Потлов, студ.; рук. В.Л. Елисеев, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ АТАК ТИПА XSS И ИЗУЧЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПОИСКА УЯЗВИМОСТЕЙ**

В настоящее время развитие веб технологий позволяет сделать динамичные и удобные в использовании сайты. Такие инструменты, как HTML5, AJAX, JavaScript сделали возможным создание сервисов с широким функционалом, в некоторых случаях заменяющие полноценные настольные приложения. Вместе с тем, новые возможности несут в себе новые риски для владельцев и пользователей сервисов.

Межсайтовое выполнение сценариев (Cross-Site Scripting, XSS) — это возможность вставки вредоносного кода в уязвимую страницу и его выполнение в браузере жертвы [1]. Инъекция кода осуществляется всеми доступными способами ввода информации. Успешное выполнение атаки может привести к утечке конфиденциальных данных, неавторизованной записи информации и перехвату пользовательских сессий.

Внедрение новых возможностей влечет за собой и появление уязвимостей: типовые методы разработки приводят к типовым методам атаки, позволяющим злоумышленнику внедрить вредоносный код на сервер, который впоследствии будет выполнен в браузере клиента [2].

В докладе вводится классификация атак XSS по способу и вектору воздействия, уязвимым технологиям и результату, получаемому злоумышленником. Целью работы является исследование алгоритмов проведения атак XSS, демонстрация уязвимостей на примере учебных сайтов и изучение возможных вариантов противодействия атакам этого типа. Планируется продолжение работы для исследования защищенности реальных сайтов и выработки рекомендаций по её повышению.

Для проведения экспериментов использовался цикл лабораторных работ от компании PortSwigger [3], которая специализируется на обеспечении информационной безопасности веб-приложений. В образовательных целях предоставляется доступ к сессиям, которые эмулируют работу типичных сервисов в сети интернет: блог, магазин и т.д.

### **Литература**

1. **Excess XSS: A comprehensive tutorial on cross-site scripting** [Электронный ресурс]. URL: <https://excess-xss.com/> (дата обращения 06.11.2022)
2. **Gupta S., Gupta B.B.** Cross-Site Scripting (XSS) attacks and defense mechanisms: classification and state-of-the-art //International Journal of System Assurance Engineering and Management. — 2017. — Т. 8. — №. 1. — С. 512–530.
3. **What is cross-site scripting (XSS) and how to prevent it?** // Web Security Academy [Электронный ресурс]. URL: <https://portswigger.net/web-security/cross-site-scripting> (дата обращения 06.11.2022)



*В.А. Оглов, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АТАК ТИПА SQL INJECTIONS И АНАЛИЗ ЗАЩИЩЕННОСТИ WEB-САЙТОВ**

Интернет является неотъемлемой частью современной жизни, благодаря многочисленным веб-приложениям и сервисам пользователи с легкостью находят нужную информацию и выполняют различные полезные действия. Значительная часть экономики основана на возможностях, предоставляемых в сети Интернет.

Архитектура типичного веб-сайта включает в себя графический пользовательский интерфейс, предоставляемый в окне веб-браузера и включающий программный код взаимодействия с пользователем и веб-сервером, собственно программный код веб-сервера, реализующий бизнес-логику и работу с базой данных, которая часто реализуется с помощью той или иной СУБД, управляемой SQL-запросами. Входные данные пользователей через веб-интерфейс передаются на веб-сервер и используются для формирования запросов внутренних баз данных с целью предоставления необходимой информации.

Достаточно распространенным недостатком многих веб-сайтов является передача пользовательского ввода в SQL-запрос без проверок и экранирования символов, которые могут быть интерпретированы в SQL-запросе, как управляющие. Это даёт возможность злоумышленникам проводить атаки типа SQL-инъекция, в которых к пользовательскому вводу добавляется вредоносный SQL-скрипт для манипулирования базой данных не предусмотренным разработчиками сайта образом. SQL-инъекция позволяет злоумышленникам осуществить кражу или подмену информации, а также привести веб-сайт в неработоспособное состояние. Точное понимание того, как устроены SQL инъекции, важно для оценки уязвимости веб-сайтов и принятия мер защиты.

В докладе изложены механизмы и технологии атак SQL Injection, описаны их разновидности, принцип внедрения и типовые ошибки разработчиков, приводящие к уязвимостям. Приводятся примеры атак SQL Injection различного вида на учебный сайт [portswigger.net](http://portswigger.net). По материалам работы планируется проведение исследований защищенности реальных веб-сайтов.

### **Литература**

1. **Boyd S.W., Keromytis A.D.** SQLrand: Preventing SQL injection attacks //International conference on applied cryptography and network security. — Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. — С. 292–302.
2. SQL Injection — OWASP Foundation. [Электронный ресурс] — Режим доступа — [https://owasp.org/www-community/attacks/SQL\\_Injection](https://owasp.org/www-community/attacks/SQL_Injection)

*С.В. Колпинский, асп.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ**

Искусственные нейронные сети в настоящее время широко применяются для решения практических и исследовательских задач. Особенность данного класса моделей машинного обучения заключается в том, что при их разработке возникает вопрос выбора архитектуры сети. Практика показывает, что наиболее эффективные архитектуры являются композицией слоев предобработки — экстрактора высокоуровневых признаков, и классического многослойного персептрона. Для синтеза слоев предобработки в частных случаях прибегают к различным эвристикам, зачастую намеренно применяя чрезмерно усложненные архитектуры. Говоря же о многослойном персептроне, который располагают на выходе сети и который в конечном счете отвечает за предсказания всей модели, можно заключить, что задача обоснованного выбора параметров его архитектуры в общем случае не решена.

Признавая, что задача обоснованного формирования оптимальной структуры многослойного персептрона в общем случае является достаточно сложной, в настоящей работе принята попытка решить её в упрощенной постановке. Предлагается рассмотреть вопрос формирования минимальной структуры многослойного персептрона, аппроксимирующего произвольную булеву функцию на полном множестве возможных значений ее аргументов. В такой постановке от нейронной сети не требуется обобщение — фактически, она должна полностью выучить таблицу истинности заданной булевой функции. Несмотря на значительное упрощение постановки, решение такой задачи может оказываться полезным в некоторых практических применениях [1].

Целью исследования является получение оценок сложности архитектуры, требуемой для аппроксимации различных булевых функций. Для этого разработан алгоритм синтеза архитектуры нейронной сети типа «многослойный персептрон» для решения задачи аппроксимации булевой функции и проведен ряд экспериментов. Дальнейшие работы будут направлены на исследование минимальности синтезируемых архитектур нейросетей.

### **Литература**

1. **Елисеев, В.Л., Милюкова Е.А., Колпинский С.В.** Нейросетевая криптографическая обфускация для доверенных облачных вычислений // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2021): Сборник научных трудов X-й Международной научно-технической конференции, Коломна, 17–20 мая 2021 года. — Смоленск: Универсум, 2021. — С. 77–87.

*С.А. Филатов, асп.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ КОМАНД И ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРА НА ОСНОВЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Ранее разработанная система распознавания голосовых команд [1] имела несколько недостатков: дикторозависимость, неустойчивость к шумам, ограниченный словарь. Первые два недостатка связаны с используемой акустической моделью этой системы, реализованной в виде классической неглубокой архитектуры свёрточной нейронной сети. Последний недостаток связан с выбранным функционалом выходного слоя нейронной сети — классификация голосовых команд. Из этого следует, что чтобы изменить словарь или распознаваемого диктора, требуется повторное обучение нейронной сети, а для этого могут потребоваться не только большие вычислительные мощности, но и время на формирование обучающей выборки.

Для исправления перечисленных недостатков было решено заменить классическую свёрточную нейронную сеть на глубокую, имеющую многократно больше слоёв, что улучшает обобщаемость информативных признаков. В последовательность блоков обработки потребовалось добавить декодер для сравнения фонемных шаблонов голосовых команд, получаемых на выходе нейронной сети вместо самих голосовых команд. Аугментация обучающей выборки позволила повысить устойчивость системы к шумам. Также была добавлена подсистема идентификации диктора, имеющая схожую последовательность блоков обработки.

Проведённые исследования включают в себя поиск оптимальной по точности, быстрдействию и занимаемому объёму глубокой нейронной сети, а также углублённый анализ параметров и алгоритмов извлечения информативных признаков из речевого сигнала.

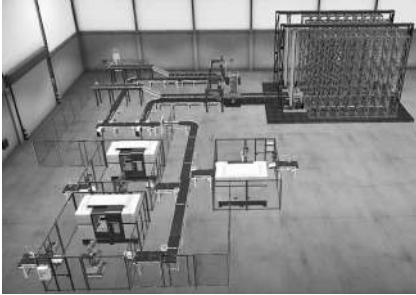
Улучшенная система распознаёт 50 голосовых команд с точностью 87% (774 тестовых образа), с предварительно добавленными двумя фонемными шаблонами каждой команды. Ошибка второго рода подсистемы идентификации диктора составляет 5%, при ошибке первого рода на уровне 0.1%.

### **Литература**

1. **Филатов С.А., Бородкин А.А.** Система распознавания голосовых команд на основе искусственных нейронных сетей // Радиотехника, электротехника и энергетика. XXVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — С. 270.

*Д.А. Антипов, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СОРТИРОВОЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**



**Рис. 1.** Модель сортировочного технологического процесса

Данная работа посвящена разработке модели и алгоритма управления сортировочным комплексом автоматизированной системы управления технологическим процессом (далее АСУ ТП). На базе приложения Factory I/O, служащего для отработки реальных задач управления, была получена модель реального технологического процесса, осуществляющего сортировку деталей разных цветов (рис. 1). Алгоритм и программа управления данным процессом реализован при помощи программи-

руемого логического контроллера (далее ПЛК) Siemens на базе среды разработки программного обеспечения для АСУ ТП TIA Portal (Totally Integrated Automation). Диспетчерский контроль будет осуществляться с помощью SCADA-системы. Это дает диспетчеру возможность не только пассивно наблюдать за объектом, но и управлять им, реагируя на различные ситуации.

Результатом данной работы является модель реального технологического процесса сортировки, функционирование которого возможно благодаря применению ПЛК. Это приводит к минимизации влияния человеческого фактора в принятии решений, уменьшению затрат на труды и, главное, повышению производительности.

### **Литература**

1. **Hans Berger.** Automating with SIMATIC S7-1500, 2014, 832 стр.
2. **Hans Berger.** Automating with SIMATIC S7-400 inside TIA Portal, 2013, 747 стр.

*Т.С. Котова, студ.; рук. В.Л. Елисеев, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА**

Задачи автоматического управления в настоящее время актуальны для многих предметных областей — от медицины до потребностей производства и государственного сектора. Классическим инструментом решения задач управления является система автоматического регулирования (САР). Управление может быть реализовано как на уровне масштабных, промышленных систем (для современных АЭС [1]), так и на уровне конкретного объекта управления (газотурбинный двигатель [2]).

Рост сложности задач управления обусловлен множеством факторов: увеличение объемов обрабатываемых данных, возрастающие требования к показателям качества управления и т.д. На фоне этого роста разрабатываются решения по модернизации САР и повышению их эффективности. Находят практическое применение САР с нечетким контроллером, гибридные нечеткие САР. Наибольшей степенью интеллектуальности характеризуются адаптивные нечеткие САР, объединяющие в себе методы нечеткой логики и концепцию нейронных сетей [3]. За счет нейро-нечеткого регулирования достигается возможность самостоятельной адаптации модели в условиях неопределенности. Такие САР представляют наибольший научный интерес, поскольку характерны малой степенью изученности. В рамках работы поставлена проблема использования адаптивной нечеткой САР для управления нестационарным объектом.

Для решения поставленной задачи разработаны математическая модель в MATLAB и программная модель на Python. По результатам экспериментов сделан вывод о том, что использование нейро-нечеткой САР позволяет минимизировать значения ошибок и оптимизировать время регулирования по сравнению с нечеткой САР.

### **Литература**

1. Control Engineering Россия, «Функции автоматизации и контроля современных АЭС», URL: <https://controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-i-kontrolya-dlya-atomnyh-e-lektrstantsij/?ysclid=> (дата обращения: 28.10.2022).
2. **Санчугов В.И.** Автоматика и управление энергетическими установками с газотурбинным приводом: учебник / Санчугов В.И., Шахматов Е.В. — Самара: Изд-во Самарского университета, 2017.
3. Лекции БГТУ им. В.Г.Шухова, «3. Нечеткие системы автоматического управления», URL: <http://nrsu.bstu.ru/chap3.html> (дата обращения: 29.10.2022).

*П.А. Дроздова, студ.;  
рук. Н.В. Скибицкий, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОНОМНЫМ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ**

В работе рассматривается задача перевода штока гидроцилиндра электрогидравлического привода из начального состояния в заданное конечное за минимальное время. При этом методы классической теории оптимального управления предполагают, что описание объекта известно точно.

На практике точное описание объекта получить часто не представляется возможным, что приводит к решению задач в условиях неопределенности. Одна из распространённых форм описания неопределённости основана на применении аппарата интервального анализа. С учётом этого в работе рассматривается решение задачи оптимального управления при известных с точностью до интервалов параметрах объекта.

Для определения оптимального управления предложен подход, основанный на принципе максимума Понтрягина, что позволило получить управляющее воздействие в виде кусочно-постоянной функции.

В работе в условиях интервальной неопределенности на параметры объекта при применении кусочно-постоянного управления сформулированы и решены задачи:

- прогноза состояния системы;
- определения множества управляющих воздействий, каждое из которых гарантирует решение задачи оптимального управления с заданной точностью.

Сформулированы условия, при которых данное множество:

- существует;
- является пустым;
- содержит единственное управление.

### **Литература**

1. **Боровин Г. К., Малышев В.Н., Попов Д.Н.** Математическое моделирование и оптимальное проектирование автономного электрогидравлического привода, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, 2003 г.
2. **Скибицкий Н.В., Севальнев Н.В.** Интервальные модели в задачах оптимального управления с дифференциальными связями // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015;81(11):66–72.

*К.Ю. Буленок, студ.; рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ИСЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА**

Управление угловым положением искусственного спутника Земли (ИСЗ) может осуществляться различными способами [1, 2] в зависимости от тех задач, для решения которых этот спутник предназначен. В спутниках, предназначенных для длительной эксплуатации, наибольшее распространение получили системы управления с двигателями-маховиками в качестве исполнительных элементов. Питание этих систем осуществляется от солнечных батарей. Упрощенное описание динамики систем управления можно найти в [1], и оно, как правило, используется большинством других авторов, для объяснения свойств таких систем. Однако упрощенное описание работы системы управления с двигателем-маховиком не отражает работу самого исполнительного двигателя, а это, в свою очередь, не позволяет оценивать предельные возможности всей системы управления для случаев, когда двигатель работает на частотах вращения близких к предельным. Для учета поведения двигателя-маховика в системе необходимо разработать более подробную имитационную модель системы, в структуру которой учитываются структурная схема двигателя-маховика.

В докладе представлена методика построения имитационной модели системы управления угловым положением ИСЗ с включением структурной схемы двигателя-маховика. За основу берется соотношение, описывающее кинетический момент системы: «объект управления — двигатель-маховик». Входом имитационной модели на базе этого соотношения является момент, развиваемый двигателем, а выходами частоты вращения двигателя-маховика и ИСЗ, а также в модели подсчитывается кинетический момент системы «ИСЗ — двигатель-маховик», далее эта имитационная модель усложняется за счет введения структурной схемы двигателя-маховика. Для этой схемы входными сигналами являются напряжение управления и частота вращения ротора двигателя-маховика, а выходным — момент, развиваемый двигателем. Полученная модель дополняется интегратором, для расчета угла поворота ИСЗ, выход которого используется для формирования главной обратной связи.

### **Литература**

1. **Алексеев К.Б.** Управление космическими летательными аппаратами. 2-е изд., перераб. и доп. / К.Б. Алексеев, Г.Г. Бебенин. — М.: Машиностроение, 1974. — 340 с.
2. **Васильев В.Н.** Системы ориентации космических аппаратов. В.Н. Васильев. — М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009.

*А.В. Кононенко, студ.; рук-ли А.Н. Василейская, науч. сотр.;  
Б.А. Юматов, мл. науч. сотр. (НИУ «МЭИ»; ИКИ РАН, Москва)*

## **МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ЗВЁЗДНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ БЕЗ НАЛИЧИЯ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫСОКИХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЯХ**

Звёздный датчик является одним из важнейших приборов в составе космического аппарата (КА), решающим задачу поиска ориентации и определения угловой скорости движения КА.

На каждом такте работы прибор осуществляет съёмку участка звёздного неба, определяет направление на центры звёзд в системе координат снимка, сопоставляет полученные направления с бортовым звёздным каталогом и рассчитывает ориентацию относительно второй экваториальной системы координат.

Поставлена задача в определении смещений центров звёзд в системе координат снимка с использованием информации, полученной с звёздного датчика. Алгоритм предназначен для работы на высоких угловых скоростях до  $10^\circ/\text{с}$ .

Рассматривается несколько моделей для решения задачи. Наиболее надёжные модели используют в основе двумерную гистограмму. Гистограмма имеет следующие параметры: максимальная дистанция и ширина ячейки; она используется для накопления наиболее близких по величине смещений в пределах максимальной дистанции. Алгоритм прибора определяет центры звездоподобных объектов на паре последних снимков, вычисляет смещения найденных центров, заносит количество значений смещений в пределах ширины ячейки в гистограмму.

На выборках [1] с равномерной скоростью при использовании модели двумерной гистограммы с уточняющим массивом смещений ошибка распознавания скорости составила от 0.2% до 4%. Массив имеет такую же размерность, как и гистограмма. При попадании количества смещений в ячейку гистограммы, в ячейку массива с теми же индексами суммируется величина полученных смещений. В конце работы алгоритма вычисляется среднее значение смещения в системе координат снимка.

### **Литература**

1. **Беличенко М.Л., Бессонов Р.В., Куркина А.Н., Юматов Б.А.** Методика верификации программно-математического обеспечения приборов звёздной ориентации // Шестая Всерос. научн.-техн. конф. «современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов». М.: ФГБУН ИКИ РАН, 2021. — С. 83–91.

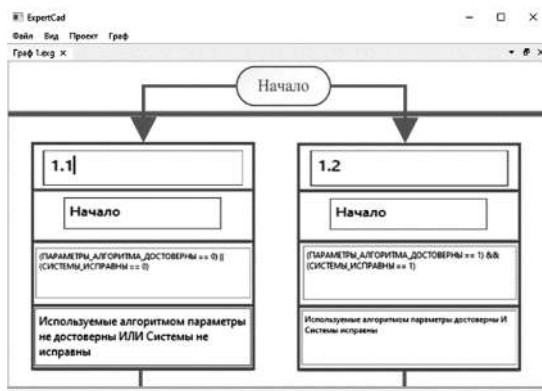


*А.А. Воробьев, И.А. Елесин, А.С. Шевадронов, асп.;  
рук. А.В. Бабиченко, д.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ПОЛНОЦИКЛОВЫЕ МАШИННО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ БОРТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений экипажа начиналась в рамках федеративной архитектуры авиационного комплекса [1]. Быстрое обновление и разработка нового оборудования требует переход к интегрированной модульной авионике (ИМА). Интеллектуальная система включает в себя большое количество обновляемых файлов [2] (базы знаний и данных, тексты сообщений, логика принятия решений), которые удовлетворяют подходу ИМА.

В работе рассматриваются некоторые проблемы разработки и интеграции интеллектуальной системы в авиационные комплексы и предлагаются их решения, так на рис.1. представлен интерфейс одного из разработанных инструментов автоматизации.



**Рис. 1.** Интерфейс технологического инструмента разработки логики принятия решения

Реализованный функционал ряда разработанных инструментов обеспечивает возможность оперативного увеличения базы знаний и данных бортовой интеллектуальной системы, что значительно ускоряет процесс разработки системы и сводит к минимуму влияние человеческого фактора.

### **Литература**

- 1. Воробьев А.А., Елесин И.А., Шевадронов А.С., Бабиченко А.В.** [и др.] Прототипирование бортовой экспертной системы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 1.
- 2. Патент № 2770996 С1** Российская Федерация, МПК G01C 23/00, G05D 1/00, G06F 15/177. Блок интеллектуальной поддержки: № 2020141667: заявл. 17.12.2020; опубл. 25.04.2022 / А.В. Бабиченко, А.А. Воробьев, А.А. Гарбузов [и др.]. — EDN AEBZCF.

Б.Ю. Кирьянов, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ «ПЯТНАШКИ»

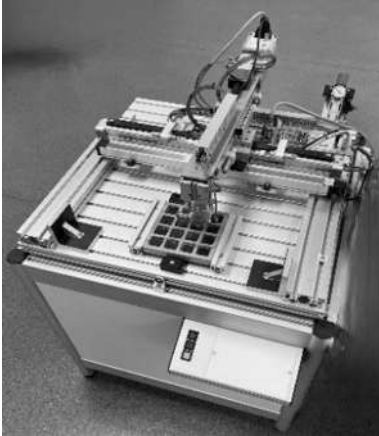


Рис. 1. Стенд «Пятнашки»

и датчики подключаются к модулям ввода/вывода контроллера компании Siemens S7-300. На стенде (рис. 1) присутствуют управляющие элементы FESTO, которые необходимо приводить своевременно в действие непосредственно с помощью контроллера, представленного выше. Были проведены предварительные тесты программы на рабочем стенде для отладки работы системы. В результате работы были подключены все дискретные сигналы к программируемому логическому контроллеру, написана программа для управления станцией, выделены все необходимые переменные для следящей системы Scada, был отображен стенд «Пятнашки» в следящей Scada-системе.

### Литература

1. **Брюханов, В.Н.** Автоматизация производства / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.

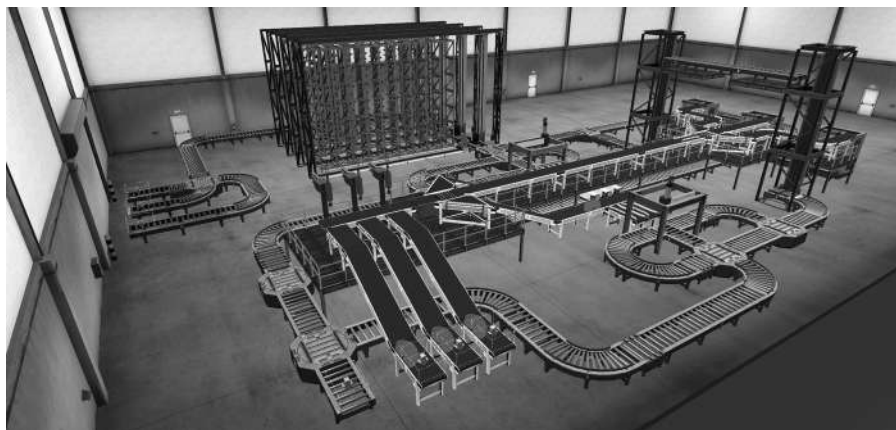
*Е.А. Баснак студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АСУ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ**

Многие заводы сталкиваются с проблемой сортировки произведённой продукции. Рабочий везет на погрузчике упакованный товар на определённый стеллаж самостоятельно. У такого подхода имеется сразу несколько проблем: работник вынужден отвлекаться от своих основных задач на поиск нужного места на стеллаже; есть риск ошибиться, из-за чего товар затеряется среди массы похожих и найти его, когда он понадобится, будет проблематично, так же рабочий ход погрузчика может быть ограничен по высоте стеллажей. Подобные трудности несут в себе как временные, так и материальные убытки. Именно поэтому необходима продуманная автоматизированная система сортировки произведённой продукции.

Автоматизации будет осуществляться с помощью программируемого логического контроллера компании ОВЕН ПЛК200. Он обеспечит быстрдействие и точность работы системы.

В ходе работы, в программе Factory I/O, была построена модель сортировочной станции, отображающая принцип её работы. Данная модель представлена на рисунке 1. На ленточные конвейеры подаются запакованные коробки с произведённой продукцией, и далее происходит сортировка по двум критериям: тип продукта и размер коробки. Отсортированные объекты раскладываются по паллетам и кладутся на стеллаж, откуда работник в дальнейшем может забрать необходимый товар на отгрузку, просто выбрав нужные ему позиции на панели оператора.



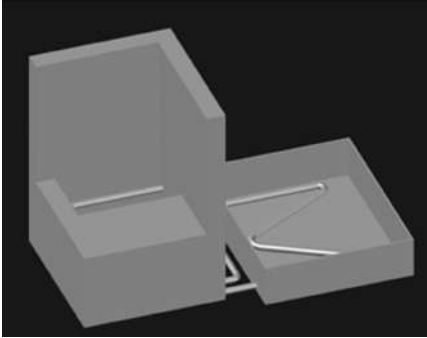
**Рис. 1.** Модель сортировочной станции

### **Литература**

1. **Романов С.** Изучаем Structured Text стандарта МЭК 61131-3, 2020, с. 41.

*А.А. Болотникова, студ., А.Л. Яковлева, студ. В.В. Пыжов, студ.;*  
*рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА-ЛЕД В ТЕПЛОВЫХ НАСОСАХ**



**Рис. 1.** Модель установки в среде AutoCAD

Первые тепловые насосы появились еще в середине двадцатого века, но стали широко применяться относительно недавно. Тепловой насос — современнейший источник энергии, используемой для работы систем кондиционирования или отопления. Он служит для переноса тепловой энергии от источника к потребителю.

Фазовый переход является важным этапом в цикле работы теплового насоса. На него приходится существенные временные затраты. Идея работы состоит в том, чтобы проверить как

влияет магнитное поле на скорость фазового перехода вода-лед.

Иностранные ученые пытались улучшить эффективность заморозки продуктов путем воздействия магнитного поля на воду [1]. Разработанная математическая модель позволяет определить влияния магнитного поля на скорость фазового перехода вода-лед.

### **Литература**

1. Mok, J.H., Choi, W., Park, S.H., Lee, S.H., & Jun, S. (2015). Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing. *International Journal of Refrigeration*, 50, 137–145.

*М.Е. Антимонов, студ.; рук. Н.И. Гребенщиков (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO**

В наше время автоматизация затрагивает процессы во многих отраслях. Автоматизированные системы позволяют заменить людей по все большим и большим специальностям. При разработке различных систем первостепенное внимание уделяется их автоматизированности, так как благодаря этому заводы, фабрики, предприятия и аграрный сектор могут наладить производственные процессы с меньшими издержками (в том числе с меньшим количеством человеко-часов).

Благодаря развитию технологий мы можем внедрить автоматизацию все в новые и новые отрасли.

Например, проблема орошения является актуальной для многих предприятий всего сельскохозяйственного сектора экономики, а так же для частных домохозяйств в связи с высокими финансовыми и временными ресурсными затратами. Множество различных датчиков позволяют измерять и определять качество полива, насыщенность почвы различными полезными минералами. Без новых технологий прогресс аграрной отрасли так бы и стоял на месте.

В ходе работы была разработана схема и алгоритм работы автоматизированной системы полива на основе микроконтроллера Arduino UNO с дополнительными модулями. Так же была выстроена модель, показывающая работу данной системы. Благодаря данной разработке существенно облегчается подачи воды на определенные участки. По показаниям датчиков освещения система определяет нужное время подачи воды. Датчик влажности измеряет данные о влажности почвы и сообщает системе о качестве полива определенного участка.

### **Литература**

1. «Путь в автоматизацию» [электронный ресурс] URL: <https://ap-n.com/avtomatizacija-poliva/> (дата обращения 28.10.2022)
2. «Программирование Arduino» [электронный ресурс] URL: <https://arduino.ru/Reference> (дата обращения 29.10.2022)
3. «Автоматический полив» [электронный ресурс] URL: <https://lesson.iarduino.ru/page/urok-30-avtomaticheskij-poliv-rasteniy/> (дата обращения 29.10.2022)

**Секция 17**  
**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ**  
**СИСТЕМЫ**  
**Computer-measuring systems**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Желбаков Игорь Николаевич*

*Секретарь секции: к.т.н., с.н.с. Лупачев Алексей Алексеевич*

*Р.В. Фонканц, студ.; рук. М.В. Белодедов, к.ф.-м. н., доц.  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙКИ УЗКОПОЛОСНЫХ ФИЛЬТРОВ К ЗАДАЧЕ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

Речь является одним из основных инструментов передачи различного рода информации. Потому сложно недооценить важность такой области, как обработка речевых сигналов. Программные и аппаратные комплексы, для обработки человеческой речи, применяются во многих современных разработках. Очевидно, что для адекватной обработки речи необходима система, как можно более соответствующая человеческому уху. Данная работа посвящена разработке такой системы.

В [1] утверждается, что человеческое ухо содержит до 4000 рецепторов, выделяющих каждый определенную частоту. Так как ухо человека не воспринимает фазу звуковых сигналов, для моделирования работы человеческого слуха оправданной представляется идея использования линейки узкополосных фильтров. В [2] делается вывод о том, что чувствительность человеческого слуха равняется 5 центам. Как известно, октава делится на 12 полутонов, каждый из которых состоит из 100 центов. Поэтому для адекватного моделирования человеческого слуха необходимо использовать 20 фильтров на полутон (или 240 фильтров на октаву).

В качестве одного такого фильтра используем комплекснозначный фильтр с передаточной характеристикой

$$H(z) = \frac{z^{-1} - A^{-1}e^{-j\omega_0}}{z^{-1} - e^{j\omega_0}} \quad (1)$$

где  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $f_0$  — центральная частота фильтра,  $A$  — некоторый коэффициент. Работа такого фильтра описывается уравнениями:

$$\begin{cases} R_n = A(R_{n-1} \cos \omega_0 - I_{n-1} \sin \omega_0) - K(x_{n-1} \cos \omega_0 - x_n \cos(2\omega_0)) \\ I_n = A(I_{n-1} \cos \omega_0 + R_{n-1} \sin \omega_0) - K(x_{n-1} \sin \omega_0 - x_n \sin(2\omega_0)) \end{cases} \quad (2)$$

где  $R$  и  $I$  — соответственно, действительная и мнимая часть выходного сигнала фильтра,  $K(\omega_0, A)$  — некоторый коэффициент.

В процессе исследований был определен оптимальный набор частот  $f_0$  и коэффициентов  $A$  и  $K$  для каждого фильтра линейки.

### Литература

1. **Стратиева О.В.** Клиническая анатомия уха: Учебное пособие — Спб.: СпецЛит, 2004. — 271 с.
2. **Taylor С.А.** The physics of musical sounds. London: English Universities Press, 1965.

*Нэй Мью Чжо, асп.; Ф.С. Поддубный, студ.;  
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

В действующих международных стандартах по испытаниям сложных объектов рекомендованы критерии окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ). Эти критерии, «критерии интервального вида» (КИВ), по умолчанию предполагают использование в качестве базовой динамическую модель ИЦ первого порядка [1].

Также в работе [2] рассматривается метод, основанный на применении «критерий с анализом производных» (КАП). Было проведено цифровое моделирование в системе Matlab. По результатам цифрового моделирования критериев, можно сделать вывод, что оба критерия, как КИВ, так и критерий на основе метода анализа производных не работают в цепях с априорной параметрической неопределенностью. Каждый из них имеет определённое значение КПК. Однако, КИВ в реализации является более простым, так как не требует настройки порога(ов) срабатывания компараторов в КАП. Чтобы убрать данный недостаток методов, разрабатывается модернизированный метод КАП. Применение которого будет возможным в цепях с априорной параметрической неопределенностью с допустимой погрешностью.

### **Литература**

1. **Нэй Мью Чжо, Лупачев А.А., Еличева Е.А., Куликова К.С., Пецинярж А.Р.** Результаты исследований интервального критерия установившегося значения при испытаниях сложных объектов // XII МНТК «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации». — Пенза: Изд-во ПГУ, 2020.
2. **Rickman S.L., Ungar E.K.** A Physics-Based Temperature Stabilization Criterion for Thermal Testing, 25th Aerospace Testing Conference, October 2009. P. 22.



*Л.С. Сердюкова, студ.; К.А. Иваненко, асп.;  
рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ, ВЫЗВАННАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АЦП**

При работе с электрическими сигналами часто возникает задача измерить среднее квадратическое значение (СКЗ) сигнала (напряжения или тока). Для цифровых измерительных преобразователей СКЗ для получения отсчетов измеряемого сигнала используется АЦП. Функция преобразования реального АЦП неидеальна. С точки зрения погрешности преобразования, наибольшее влияние оказывает явление нелинейности функции преобразования.

Существует несколько подходов к аппроксимации погрешности линейности: по методу наихудшего случая и полиномами различных порядков [1]. Метод наихудшего случая позволяет оценить сверху погрешность измерения СКЗ, вызванную нелинейностью АЦП. В работе проанализированы погрешности, возникающие для синусоидального и полигармонических сигналов. В ходе исследования путём имитационного моделирования в программном пакете Matlab были получены зависимости относительной погрешности измерения СКЗ от начальной фазы, частоты, частоты дискретизации, амплитудного значения сигнала; проанализировано влияние количества гармоник сигнала и максимального значения интегральной нелинейности на погрешность проводимого измерения.

Получены аналитические выражения для оценки погрешности измерения СКЗ, вызванной нелинейностью АЦП. Для рассматриваемого подхода установлено, что погрешность измерения СКЗ практически не зависит от начальной фазы и частоты дискретизации. Последнее обстоятельство демонстрирует основной недостаток метода наихудшего случая, который особенно сильно проявляется для АЦП, построенных на основе архитектуры последовательного приближения и конвейерных. Основное достоинство метода наихудшего случая состоит в получении максимально возможного значения погрешности для АЦП произвольного типа.

### **Литература**

1. **Serov A.N., Serov N.A., Dolgatcheva E.A.** Influence of Nonlinearity of ADC Conversion Function on RMS Measurement Error // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2018, pp. 1–6.

*С.А. Подобуев, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Большинство современных аналоговых и цифровых измерительных устройств для преобразования входного сигнала требуют применения масштабирующих устройств (МУ) и активных фильтров (АФ), по этой причине задачи разработки, моделирования и оценки погрешностей МУ и АФ являются типовыми. Основные принципы разработки МУ и АФ хорошо известны и изложены в источниках [1, 2]. Вместе с тем задачи, связанные с моделированием данных блоков и учётом причин, приводящих к погрешности преобразования, не исследованы в достаточном объёме.

В работе применён программный пакет Simulink для построения типового измерительного канала, который содержит МУ и аналоговый фильтр. Предлагаемая в работе модель МУ может быть применена для моделирования таких популярных преобразователей, как делители напряжения, решающие усилители, инструментальные усилители и усилители с программируемым коэффициентом усиления. Модель учитывает такие особенности МУ, как наличие постоянного смещения, входной ток, отклонение внутреннего коэффициента передач и конечный диапазон входного и выходного сигнала.

Предлагаемая в схеме модель АФ может быть использована для моделирования и оценки погрешности как пассивных, так и активных фильтров. Данная модель реализует полосно-пропускающий фильтр 4-го порядка. Соединение рассматриваемых моделей каскадным способом позволяет повысить порядок реализуемого фильтра. Среди возможностей модели можно отметить учёт отклонения сопротивлений и ёмкостей от номинальных значений, ЭДС смещения и входных токов внутренних операционных усилителей (предполагается реализация фильтра по топологии Саллена-Ки).

В работе предложена методика оценки погрешности фильтра, связанная с конечными отклонениями элементов его обратной связи. Выполнены сравнения результатов имитационного моделирования и аналитических расчётов.

### **Литература**

1. **Б. Картер, Р. Манчини**, Операционные усилители для всех // ДМК Пресс. — 2016. — 528 с.
2. **Walter G Jung**, Op Amp Application Handbook // Newnes. — 2004. — 896 с.

*И.Р. Будушкин, Е.В. Горелкина, студенты; К.К. Ермаков, асп.;  
рук. И.А. Тихомирова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОММУНИКАЦИИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ СОТРУДНИКОВ**

Данная система реализована в рамках акселерационной программы Лаборатории энергетики студенческим научно-техническим обществом «Вектор» Ивановского государственного энергетического университета. Браслет считывает пульс, температуру и другие данные сотрудника и передает эти данные на телефон, который отправляет их на сервер. Сервер в свою очередь сортирует их и в понятном для пользователя виде передает их на компьютер администратора.

Для функционирования данной системы необходимо только наличие сети интернет.

В ходе работы был произведен анализ имеющихся решений на рынке и было выявлено, что ни одна из систем не выполняет все необходимые требования [1]. В основе системы находится серверное ПО которое взаимодействует со смартфоном сотрудника по протоколу TCP/IP и принимает от него данные. Смартфон будет оснащен специальным ПО для обработки и взаимодействия с информацией, чатом для общения сотрудников и кнопкой «SOS» чтобы позвать на помощь в случае ЧП. Сервер передает эти данные на ПК администратора, где он в режиме реального времени наблюдает за состоянием здоровья сотрудников как в опасных зонах, так и по всему предприятию [2]. Далее данные, собранные браслетом, сортируются и хранятся в базе данных чтобы формировать ежемесячные отчеты и прослеживать тенденцию состояния здоровья. Отчеты будут доступны на FTP и web сервере, но на web сервере будет возможность просмотра статистики по каждому отдельному сотруднику, а не только общий документ. Так же на web сервере будут размещены все ПО необходимые для функционирования системы.

Система была протестирована и представляет собой готовое решение.

Дальнейшая работа над проектом предполагает реализацию ПО оператора, для указания местоположения опасных зон, мониторинга данных и постановления задач для сотрудников через систему чата. А также сайта для просмотра информации.

### **Литература**

1. «Умные» браслеты для безопасности и контроля персонала [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/news/901/254732/>, свободный (дата обращения: 12.07.2022).
2. Лаборатория энергетики. Кейс 17 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://лабораторияэнергетики.пф/#rec420761871>, свободный (дата обращения: 12.07.2022).

*Нэй Мью Чжо, асп.; рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ «СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ» В СТАНДАРТАХ НА МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

Решение задачи регистрации установившегося значения актуально для стационарного метода определения коэффициента теплопроводности композиционных материалов. Стационарные методы (СМ) определения коэффициента теплопроводности, основаны на исследовании неизменных во времени температурных полей, и как правило, «более простые и, следовательно, более совершенные» [1]. Исследования профессора кафедры ТОТ МЭИ В.А. Осиповой [2] показали, что стационарный метод определения коэффициента теплопроводности является классическим с почти сто летней историей его развития в России. СМ основаны на законе теплопроводности Фурье для стационарного теплового потока, который воздействует на лицевые поверхности образцов, например, из теплоизоляторов.

Как показали исследования, выполненные в работе [3], «суммарная погрешность определения теплофизических характеристик (ТФХ) складывается из погрешности измерения величин, входящих в расчётные формулы (инструментальная ошибка), и не учтённые в методе реально существующих факторов теплообмена (методическая ошибка)». На такие факторы указывает стандарт [4], в котором сформулировано требование о запрете проводить испытание ТФХ до момента «установления стационарного теплового потока».

В настоящей работе проведён анализ понятия «стационарный режим измерения» в стандарте [4], на методы определения теплопроводности, для различных годов издания этого ГОСТ за полвека его использования. От первого известного авторам, внедрённого в 1954 г. взамен ОСТ ВКС 7458. С последующим совершенствованиям (в плане определения понятия «стационарный режим измерения») в 1966 и 1987 гг., до межгосударственного стандарта принятого в 1999 г. МНТКС, и используемого в восьми странах из бывшего СССР.

### **Литература**

1. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. — М.: Издательство МЭИ, 2001. — 564 с.
2. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача: Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: «Энергия», 1975. — 488 с.
3. Методы определения теплопроводности и теплопроводности. / Под ред. А.В. Лыкова. — М.: Энергия, 1973. — 336 с.
4. **ГОСТ 7076-99.** Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. — М.: МНТКС, 1999. — 27 с.

*В.В. Пойда, асп.; рук. А.А. Лупачёв, к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”);  
А.Р. Пецинярж, студ. (НИУ “ВШЭ”)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО САМОКОНТРОЛЯ**

При реализации диагностического самоконтроля датчика необходимо учитывать, что существенную составляющую общей погрешности измерения имеют динамические погрешности, которые на практике трудно поддаются оценке. Поэтому целесообразно обеспечить стационарный режим измерений при метрологическом самоконтроле датчика. В работе (2) авторы связывают расхождения графиков температурной разности меди и платины с влиянием динамической погрешности. В дальнейшем эти расхождения повлияют на работу данного метода. Поэтому при планировании дальнейших исследований они указывают на необходимость получения экспериментальных динамических характеристик обоих термосопротивлений для оценки времени ожидания установившегося режима.

Согласно [1], решение задачи гарантированного обеспечения заданного уровня динамической погрешности на всём диапазоне значений динамического параметра возможно с применением робастного алгоритма. Построение робастного алгоритма опирается на управление длительностью интервала наблюдения традиционного интервального критерия. Данный алгоритм позволяет избежать, такие недостатки как возможность ложноположительного решения критерия на всём интервале априорной неопределённости. В соответствии с алгоритмом разработана структурная схема робастной системы обработки сигнала переходного процесса. Структура включает «Наблюдатель», который анализирует поведение контролируемого параметра и сравнивает его текущее значение с опорным значением. На основе вычислений рассчитывается новое значение длительности интервала наблюдения.

### **Литература**

1. Бехтин Ю.С., Лупачев А.А., Логинов В.А., Еличева Е.А., Пецинярж А.Р. Интервальный критерий окончания переходного процесса в измерительной цепи при испытаниях // Материалы Седьмой МНТК «Измерения и испытания в судостроении и смежных отраслях (СУДОМЕТРИКА-2018)» / ред. В.А. Грановского. — СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018 — С. 44–47.
2. Б.А. Шпаков, А.Н. Тырсин. Экспериментальное исследование метода метрологической самодиагностики датчика температуры на двух термосопротивлениях // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ — Саратов.: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2020 — с. 124–127.

*А.А. Опекунова, И.Д. Демидов, студенты;  
рук. А.Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, Москва)*

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ВНЕШНЕЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

Измерение паразитной вибрации оборудования позволяет судить о степени его изношенности. В связи с этим задача разработки измерителей параметров вибрации является актуальной. Наибольший интерес представляют бесконтактные средства измерения, основанные на оптическом методе получения информации [1].

Цель работы — разработка математической модели волоконно-оптических преобразователей (ВОП) с внешней модуляцией для их использования в бесконтактном измерителе виброперемещений.

Функция преобразования (ФП) ВОП, представляющую собой сложную зависимость тока фотоприемника от внешних воздействий [2]:

$$I_{\text{фп}} = \sum_{i=0}^N I_i \times \frac{1}{2} \tau(\varphi)^2 \times K_{\text{ср}} \times K_{\text{отр}} \times K_{\text{шер}} \times \eta(\lambda) \times K_{\text{фп}} \quad (1)$$

где  $I_{\text{фп}}$  — ток отклика фотоприемника,  $I_i$  — ток  $i$ -го луча из  $N$  вышедших от источника излучения,  $\tau(\varphi)$  — коэффициент светопропускания волокна,  $K_{\text{ср}}$  — потери при распространении светового потока в среде,  $K_{\text{отр}}$  — коэффициент отражения от поверхности,  $K_{\text{шер}}$  — коэффициент шероховатости поверхности,  $K_{\text{фп}}$  — интегральная чувствительность фотоприемника,  $\eta(\lambda)$  — коэффициент спектрального согласования источников и приемников.

Практическая значимость модели состоит в возможности спрогнозировать ход световых лучей от источника излучения до фотоприемника и вклад каждого из них в отклик приемного компонента. Это показывает зависимость выходного сигнала оптического преобразователя от расстояния до измеряемого объекта. Другими словами выведенная нами ФП позволяет определить конструктивные параметры волоконно-оптического преобразователя, при которых бесконтактный датчик вибродиагностики будет более чувствителен к малым изменениям виброперемещений во время измерений.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.В., Красивская М.И., Юрин А.И.** Исследование волоконно-оптических датчиков с внешней модуляцией // Датчики и системы. 2013. № 5. с. 34–37.
2. **Зак Е.А.** Волоконно-оптические преобразователи с внешней модуляцией. — Москва: Энергоатомиздат, 1989. — 129 с.

*Р.М. Сетдииков, студ.; И.Г. Тюрин, студ.;  
рук. А.Л. Тув, ст. преп. (МИЭМ НИУ ВШЭ, Москва)*

## **РАЗРАБОТКА МАКРОМОДЕЛИ ДАТЧИКА ЧАСТИЦ СПЕКТРОМЕТРА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ MICRO-CAP**

Регистрация энергии ионизирующих излучений — важная задача, так как его воздействие негативно влияет на живые организмы. При долгосрочном воздействии увеличивается риск развития заболеваний. Степень данного влияния определяется типом и уровнем радиации, а именно электромагнитным полем (гамма-частицы) или потоком элементарных частиц (нейтронов, протонов, бета-, альфа-частиц). Одним из возможных методов регистрации ионизирующих излучений является сцинтилляционный метод [1]. Для моделирования работы аппаратуры контроля излучения необходимо получить SPICE-модель устройства регистрации излучения.

Цель работы — разработка модели датчика частиц приёмного тракта системы, регистрирующей ионизирующее излучение для использования в средах SPICE-моделирования Micro-Cap на основе математической модели.

Для определения выходной функции макромодели необходимо просуммировать отдельные импульсы, сложенные с помехами [2]:

$$I(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{flight}, \\ i_{\text{maximum}} * \left(1 - e^{-\frac{t-T_{flight}}{t_{\text{раз}}}}\right), & \text{при } t \geq T_{flight} \text{ и } \left(1 - e^{-\frac{t-T_{flight}}{t_{\text{раз}}}}\right) < 0.99 \\ i_{\text{maximum}} * \left(e^{-\frac{t-T_{flight}}{t_{\text{раз}}}}\right), & \text{при } t \geq T_{flight} \text{ и } \left(1 - e^{-\frac{t-T_{flight}}{t_{\text{раз}}}}\right) \geq 0.99 \end{cases}$$

где  $I(t)$  — выходной ток,  $t_{\text{раз}}$  — постоянная времени разряда,  $T_{\text{flight}}$  — время срабатывания ячейки,  $i_{\text{maximum}}$  — максимальное значение выходного тока.

Практическая значимость модели состоит в упрощении процесса моделирования и разработки устройств для регистрации энергий ионизирующих излучений. На основе статистических характеристик распределения энергии излучения вычисляется прогнозируемое значение тока на выходе системы детектирования. Это позволяет производить дальнейшие преобразования сигнала.

### **Литература**

1. Сцинтилляционные счётчики. — URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/108/076.htm>
2. Introduction to the Silicon Photomultiplier (SiPM). —URL: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9770-D.PDF>

**Секция 18**  
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ**  
**И ДИАГНОСТИКА**  
**Non-destructive control and diagnostics**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Лунин Валерий Павлович*

*Секретари секции: к.т.н. Быков Алексей Александрович*



*С.А. Данильченко, С.С. Пичугин, Р.А. Ишбердина, студенты,  
А.А. Самокрутов, д.т.н., проф. ("НИУ "МЭИ")*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

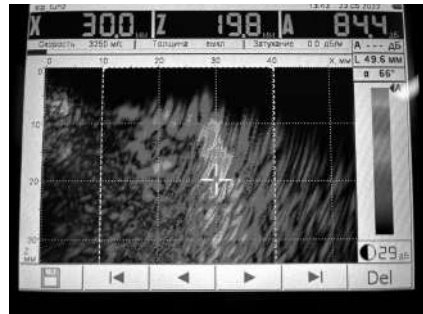
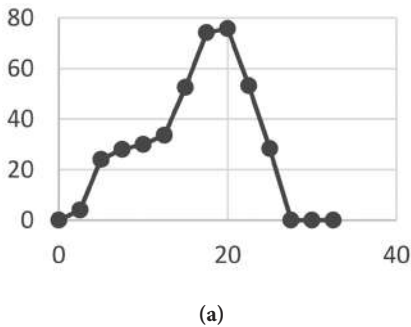
Работа посвящена сравнительному анализу различных методов неразрушающего контроля при контроле сварных соединений методом сварки с перемешиванием (СТП).

Описываются особенности применения данного метода сварки для сплавов, его преимущества и недостатки [1].

Описаны возможные дефекты, характерные для данного метода сварки, изучены методы и способы неразрушающего контроля в поиске и оценке таких дефектов.

Научная новизна работы заключается в сравнительном анализе двух методов неразрушающего контроля для алюминиевых сплавов АМГ-6, при сварке методом трения с перемешиванием.

Был проведен сравнительный анализ методов неразрушающего контроля при контроле туннельного дефекта, в ходе которого выяснилось, что вихретоковый (рис. 1.а) и ультразвуковой (рис. 1.б) методы неразрушающего контроля хорошо подходят для данного метода сварки. Дальнейшим изучением данной тематики будет анализ чувствительности данных методов НК и составление методики комбинированным методом контроля СТП.



**Рис. 1.** (а) Разностный сигнал бездефектного и дефектного участка;  
(б) — Сканограма сварного шва

### **Литература**

1. **И.К. Черных, Е.В. Васильев, А.Г. Кушнарева, Е.В. Кривонос.** Повышение качества и эффективности сварки трением с перемешиванием пластин из алюминиевого сплава АМГ-6 // Материалы V Международной научно-технической конференции. Омск, 2021.

*К.В. Зотов, асп.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОРРЕКТИРОВКА ЗАКОНОВ ФОКУСИРОВКИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ПРОДОЛЬНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕФЕКТΟΣКОПОВ С ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЁТКОЙ**

Ультразвуковой контроль методом фазированной решетки находит все большее применение в промышленности и в особенности в нефтегазовой отрасли. Однако при применении этого метода для контроля изделий с криволинейной поверхностью возникают определённые сложности с корректностью вычисления положения и глубины залегания дефекта, так как математический расчёт законов фокусировки фазированной решётки в большинстве случаев основан на плоской модели отражающей поверхности. Кроме того, интерпретация S-сканов является достаточно сложной для оператора.

В частности, при контроле продольного сварного соединения трубопроводов малого диаметра происходит неточная локализация и определение размеров дефектов. Ошибка в определении геометрических параметров отражателя обусловлена тем, что каждый луч S-скана отражается под углом, отличным от угла падения, так как отражение происходит не от плоской, а от выпуклой поверхности. Типичная функция ультразвукового дефектоскопа — наложение маски сварного соединения без учёта криволинейности отражающей поверхности — не может быть использована на практике при контроле продольных сварных соединений и очевидна необходимость учитывать эффект выпуклой отражающей поверхности.

В работе представлен совершенно новый подход к контролю продольных сварных соединений. В отличие от традиционного способа учета законов фокусировки при формировании суммарного секторного скана, предлагаемый метод предполагает соответствующую коррекцию каждого из A-сканов для того, чтобы более точно выполнить измерения глубины залегания дефектов.

Кроме того, в работе описан процесс настройки чувствительности дефектоскопа перед выполнением ультразвукового контроля продольного сварного соединения.

### **Литература**

1. GINZEL, Ed, To Focus or Not To Focus, Форум ndt.net, Август 2015.
2. RIOUX, Philippe, True Advancements for Longitudinal Weld Pipe, Sonatest 2016.

*А.Ю. Белых, студ.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ЯЧЕЙКАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Важнейшим направлением современной геофизики, энергетики и приборостроения является изучение свойств и структуры новых материалов, работающих в условиях экстремально высоких температур и давлений. Для создания высокого давления изначально использовался аппарат поршень-цилиндр, что позволяет достигнуть давления до 5 Гпа. Для более высоких давлений используются алмазные наковальни. При этом чем выше создаваемое давление, которое может достигать не более 100 Гпа (1000000 бар), тем сложнее обеспечить его равномерность по площади.

При исследовании вещества в экстремальных условиях и при синтезе новых веществ происходят фазовые превращения в веществе, для их точного определения и так же для более точно задания давления в ячейках необходимо знать пространственное распределение давления. Это позволит корректировать затяжку винтов при установке давления, располагать пик максимального давления в центральной области ячейки, что позволит задавать большие давления с меньшим риском разрушения алмазных наковален. В данной работе для измерения пространственного распределения давления предлагается метод сканирования поверхности алмаза, спектральными методами измерения давления.

На сегодняшний день существует несколько спектральных методов определения давления, основанные на разных физических принципах: спектроскопия в инфракрасном диапазоне, измерения спектра люминесценции и спектроскопия комбинационного рассеяния [1]. В данной работе проведен сравнительный анализ данных методов. В результате сравнения для измерения давления в ячейках высокого давления с алмазными наковальнями был выбран метод спектроскопии комбинационного рассеяния.

Эксперименты по измерению пространственного распределения давления проводились с использованием ячеек с алмазными наковальнями [2]. Выбор таких ячеек обуславливается тем, что алмазы являются очень прочными и оптически прозрачными материалам, что открывает широкие возможности для научных исследований [3].

В настоящей работе проведен сравнительный анализ спектральных методов измерения давления. Проведены и проанализированы эксперименты по измерению пространственного распределения давления в ячейках высокого давления с алмазными наковальнями.

### **Литература**

1. **Пентин Ю.А., Курамшина Г.М.** Основы молекулярной спектроскопии. — М.: БИНОМ. ЛЗ, 2008. — 398 с.
2. **Ропов, М.** (2004). Pressure measurements from Raman spectra of stressed diamond anvils. *Journal of Applied Physics*, 95 p.
3. **Akahama Y., Kawamura H.** Pressure calibration of diamond anvil Raman gauge to 310 GPa // *Journal of Applied Physics*. — 2006. — V. 100. — P. 043516–043516.

*М.А. Комягин, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В ИМПУЛЬСНОМ ВТК СЛОИСТЫХ СТРУКТУР**

В работе проводятся теоретические исследования импульсного вихретокового контроля с целью оценки влияния положения и размера дефекта в слоистых структурах (типичных для авиаизделий) на параметры приемного сигнала преобразователя [1,2]. Исследования проводились на двумерной осесимметричной модели методом конечных элементов, при этом дефект в виде межслойного расслоения имел форму диска толщиной 200 микрон с различным диаметром (5 вариантов диаметра) и располагался на оси под преобразователем на различной глубине (тоже 5 вариантов) многослойной структуры, состоящей из 10 алюминиевых пластин толщиной 0,4 мм.

В качестве результата каждого численного эксперимента рассчитывался сигнал приемной катушки, из которого вычитался сигнал той же катушки, но от бездефектного объекта, так называемый «разностный» сигнал, обусловленный только наличием дефекта.

Из полученных сигналов выделялись некоторые характерные параметры (информативные признаки), по которым в дальнейшем можно строить систему распознавания положения и размера дефекта. В качестве таких признаков были выбраны: амплитуда первого экстремума разностного сигнала, амплитуда второго экстремума, время достижения первого и второго экстремумов, а также время пересечения временной оси при переходе от первого экстремума ко второму (амплитуда разностного сигнала в данный момент времени равна нулю). Оценка положения и размера дефекта по диагностическим признакам было проведено с помощью регрессионного анализа.

### **Литература**

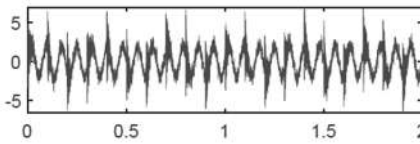
1. **Комягин М.А., Лунин В.П.** Моделирование импульсного вихретокового метода для обнаружения дефектов в многослойных алюминиевых пластинах // Тезисы докладов XXVIII МНТК студентов и аспирантов. 17–19 марта 2022 г. — М.: МЭИ. — С. 236.
2. **Лунин В.П.** Проектирование преобразователя для импульсного вихретокового контроля многослойных изделий / В.П. Лунин, М.А. Комягин // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сб. ст. 8-й Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 29–30 сентября 2022 года — Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2022. — с. 155–161.

*С.В. Ушанов, студ.; рук. В.А. Барат, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

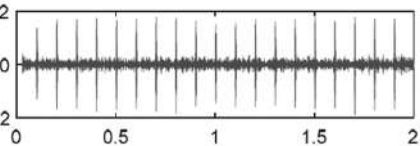
## **ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПО СПЕКТРУ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ**

Метод диагностики состояния вращающегося оборудования при помощи спектров огибающей вибрационного сигнала получил максимальное прикладное развитие [1] благодаря его применению для ранней диагностики технического состояния подшипников качения. При ударе тел качения о дефект возникают высокочастотные затухающие колебания, которые повторяются с определенной частотой в зависимости от вида дефекта. Поэтому анализируя огибающую сигнала и спектр огибающей можно сделать вывод о наличии и характере дефекта. Зачастую, особенно в условиях повышенного уровня шума или в связи с присутствием в системе контроля дополнительных мощных источников сигнала, например вращающегося вала электродвигателя, этого становится недостаточно (рис. 1). Необходимо прибегать к разделению сигнала от вращения вала и других помех от полезных сигналов, связанных с работой подшипников.

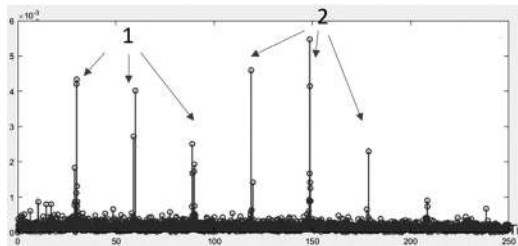
В данной работе предлагается использовать комбинированный алгоритм анализа акустических сигналов, измеренных для подшипников качения. Алгоритм состоит из авторегрессионной модели (АР) для выделения детерминированной части сигнала (рис. 2), расчета спектрального эксцесса для определения диапазона резонансных частот и полосовой фильтрации в данном диапазоне с последующим построением спектра (рис. 3).



**Рис. 1.** Временная реализация исходного сигнала дефектного подшипника



**Рис. 2.** Временная реализация сигнала после АР-модели



**Рис. 3.** Спектр огибающей конечного сигнала (1, 2 — частоты соответствующие дефектам)

### **Литература**

1. S. KIM, D. AN, J.-H. Choi. Diagnostics 101: A tutorial for a fault diagnostics of rolling element bearing using envelope analysis in MATLAB // Applied Sciences. 2020.

*К.Ю. Потанин, студ.; рук. В.А. Барат, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТЕКЛА**

Метод акустической эмиссии (АЭ) является пассивным методом неразрушающего контроля, позволяющим выявлять различные повреждения в структуре материала объекта контроля (ОК), идентифицировать тип дефекта и определять его местоположение. Одним из основных преимуществ метода АЭ является возможность диагностирования различных видов материалов, в том числе стекла.

Диагностика объектов из стекла является актуальной задачей, так как массивные стеклянные конструкции являются распространенными элементами зданий и сооружений, разрушение которых может привести к аварии, также возникает необходимость контроля лобовых стекол транспортных средств.

Стекло является хрупким материалом, поэтому образование трещин и сколов в нем приводит к возникновению сигналов АЭ энергией 80–100 дБ, обнаружение таких сигналов не представляется сложным [1]. Более сложной задачей является идентификация сигналов АЭ, соответствующих дефектам, на фоне различного рода помех. Стекло может подвергаться воздействию дождя, града и обледенения. Эти воздействия могут создавать импульсные акустические сигналы, что вызывает ложное обнаружение дефекта.

Данная работа посвящена анализу и идентификации сигналов АЭ, возникающих при разрушении стекла [2]. Работа основана на экспериментальных данных. Эксперименты по механическому нагружению образцов различных стекол с применением метода АЭ позволили сформировать выборку полезных сигналов, а эксперименты по имитации различных шумовых воздействий, позволили создать выборку помех. В рамках работы были исследованы акустические свойства стекол различных марок, исследованы параметры АЭ, соответствующие дефектам, а также были предложены алгоритмы классификации данных АЭ, позволяющие идентифицировать различные сигналы на фоне помех.

### **Литература**

1. **Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.** Акустико-Эмиссионная Диагностика // Москва 2010.
2. **Бехер С.А., Попков А.А.** Временные характеристики потока сигналов акустической эмиссии при развитии трещин в стекле при ударном нагружении // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2019. Т. 22. № 1. С. 62–71.

*Т.Д. Баландин, студ.; рук. В.А. Барат, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ АЭ СИГНАЛОВ**

Одним из перспективных методов неразрушающего контроля является метод акустической эмиссии (АЭ), позволяющий выявлять дефекты на основании регистрации упругих колебаний, которые излучаются дефектами при их развитии. Одной из проблем метода АЭ является сложность интерпретации данных, которые необходимо правильно идентифицировать и отделять от помех. Для обработки и структуризации данных АЭ, как правило, используются методы кластеризации.

В данной работе рассматривается алгоритм динамической кластеризации [1], который, в отличие от традиционных алгоритмов, не требует априорного задания количества кластеров и не использует итерационную иерархическую схему расчета кластеров. В соответствии с предложенным методом количество кластеров может динамически изменяться в процессе обработки данных, за счет объединения существующих и генерации новых кластеров.

Для исследования алгоритма был проведён эксперимент по имитации АЭ сигналов и помех. В качестве исследуемого объекта использовалась металлическая пластина 1x0,5 м из стали 09Г2С и труба из стали 12Х18Н10Т. Для моделирования АЭ сигналов был использован имитатор Су-Нильсена, в качестве источников шума моделировались распространенные промышленные помехи — вибрация и течь. Акустические сигналы регистрировались преобразователями GT200 с помощью модуля сбора данных L-card e20-10. Полученные временные реализации были идентифицированы с использованием алгоритма динамической кластеризации. В качестве информативных признаков использовались параметры формы сигналов, амплитуда, энергия и различные спектральные характеристики.

В результате работы алгоритма было достигнуто достоверное разделение импульсных сигналов АЭ, соответствующих дефектам и стационарным помехам. Погрешность классификации составила 90%. При этом кластер помехи хорошо локализован и имеет наименьшее среднее внутрикластерное расстояние.

### **Литература**

1. **Eraldo Pomponi, Alexei Vinogradov.** ELSEVIER: A real-time approach to acoustic emission clustering. 2013.

*А.А. Шумилин, студ., А.С. Кокоулин, асп.;  
рук-ли В.П. Лунин, д.т.н., проф., П.Н. Шкатов, д.т.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗДЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТДЕЛЬНЫХ СЛОЁВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКА ИМПУЛЬСНЫМ ВИХРЕТОВОКОВЫМ МЕТОДОМ**

Слоистые композиционные материалы на основе углепластикового волокна всё чаще применяются в различных отраслях современной промышленности. При этом дальнейшее расширение области их применения невозможно без обеспечения контроля качества, в частности, выявления нарушений в структуре материала, а также количественной оценки геометрических параметров этих нарушений.

Одним из наиболее перспективных методов, применяемых для решения этих задач является вихретоковый вид неразрушающего контроля [1]. Эффективным способом возбуждения вихревых токов является импульсный метод [2], обладающий рядом преимуществ, однако его применение ограничено отсутствием достаточно развитой теоретической базы.

В работе исследованы сигналы вихретокового преобразователя при проведении неразрушающего контроля качества многослойных углепластиковых композиционных материалов с различными схемами армирования, предполагающими разнонаправленную ориентацию волокон в соседних слоях. Рассмотрена система абсолютных преобразователей специальной формы, работающая при импульсном возбуждении электромагнитного поля.

Для исследований применено компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов. В результате проведённых модельных исследований произведён поиск информативных признаков импульсных вихретоковых сигналов, соответствующих изменению значений электромагнитных параметров отдельных слоёв композиционного материала. На основании выработанных критериев были сформулированы алгоритмы получения количественной информации о параметрах отдельных слоёв в исследуемом многослойном объекте.

### **Литература**

1. **Кокуров А.М., Малущин Д.С., Чичигин Б.А., Субботин Д.Е., Кузнецов А.О.** Идентификация дефектов в слоистых композитах с помощью импульсного вихретокового метода // Письма в ЖТФ. 46:22 (2020). 15–18; Tech. Phys. Lett. 46:11 (2020). 1116–1119.
2. **Славинская Е.А., Терехин И.В.** Исследование сигналов вихретокового преобразователя при импульсной дефектоскопии // Вестник Московского энергетического института. 2015. № 4. С. 40–43.



*А.А. Золотухина, В.И. Букова, студенты;  
рук. А.В. Гурылева, к.т.н., ст. преподаватель (МГТУ им. Н.Э. Баумана);  
рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБРАБОТКА ДАННЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОЛИЧЕСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ ЭКОМОНИТОРИНГА**

Содержание хлорофилла в листе является исчерпывающим показателем состояния растительности, который позволяет проводить оценку эффективности моделей углеродного регулирования [1]. Быстродействующий и неразрушающий метод его оценки может быть реализован с помощью спектральных изображающих приборов.

Целью данной работы является разработка алгоритма обработки спектральных данных, позволяющего получать пространственное распределение хлорофилла в листе. В эксперименте использовался акустооптический гиперспектрометр, в поле зрения которого были размещены растительные образцы, освещенные галогенной лампой. Предварительная обработка данных включает устранение артефактов изображения, снижение шума спектральных изображений и автоматическое определение объекта исследования. Извлечение спектрального коэффициента диффузного отражения проводилось путем деления зарегистрированной спектральной плотности яркости излучения на спектральную функцию источника освещения. Помимо нормировки обработка включала учет коэффициента передачи спектрального прибора. Полученная трехмерная матрица значений интенсивности позволяет получить пространственное распределение вегетационных индексов [2], которые связаны с концентрацией хлорофилла. Экспериментально полученные данные были обработаны описанным алгоритмом, в результате чего получены распределения хлорофилла растительности, которые имеют высокую корреляцию ( $R^2 > 0,8$ ) с лабораторными анализами, что позволило верифицировать разработанный метод.

### **Литература**

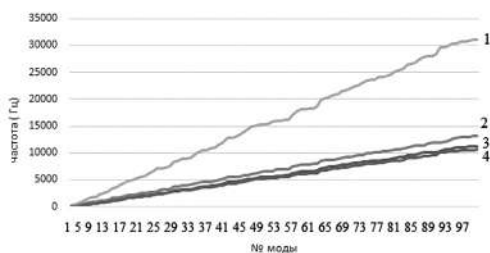
1. **Yoshio Inoue** Synergy of Remote Sensing and Modeling for Estimating Ecophysiological Processes in Plant Production // Plant Production Science. 2003. Vol. 6. № 1.
2. **Wu C.** Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation // Agricultural and forest meteorology. 2008. Vol. 148. № 8. — P. 1230–1241.

*Е.В. Гарнышова, асп., Е.В. Измайлова, к.т.н., доц.;  
рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

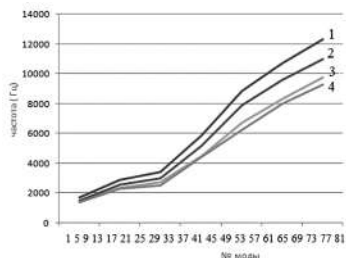
## ПРИМЕНЕНИЕ ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Большинство трубопроводов тепловых сетей подвержено обрастанию отложениями разного типа, что влияет на их пропускное сечение, скорость течения теплоносителя, также изменяют и массу конструкции.

Для выявления зависимостей собственных частот колебаний трубопроводов от плотности и толщины отложений были смоделированы в среде ANSYS плоская пластина (400x160x2 мм) и объемная труба длиной 400 мм, внешним  $d = 159$  мм, внутренним  $d = 151$  мм, имитирующие часть трубопровода тепловой сети, и проведены расчеты. В качестве материала конструкций была использована структурная сталь. После были добавлены на них отложения (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 мм) с разной плотностью. Каждое коррозионно-накипное отложение имеет свою плотность. В качестве отложений были взяты оксиды кремния ( $\text{SiO}_2$ ), кальция ( $\text{CaO}$ ), магния ( $\text{MgO}$ ) и железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) с плотностями — 2,65, 3,37, 3,58, 7,8 г/см<sup>3</sup> соответственно. На Рис. 1 показаны зависимости собственных частот колебаний конструкций от плотности отложений, где 1 —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2 —  $\text{MgO}$ , 3 —  $\text{CaO}$ , 4 —  $\text{SiO}_2$ . Толщина отложений для каждого вида 2,5 мм [1].



(а)



(б)

Рис. 1. График зависимости собственных частот колебаний от плотности отложений, где (а) пластина, (б) труба

По результатам расчетов был сделан вывод, что с увеличением плотности и толщины отложений возрастают собственные частоты колебаний конструкции, как плоской, так и объемной формы.

Работа выполнялась в рамках гос. задания № 075-03-2021-175/3.

### Литература

1. Ваньков Ю.В., Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В., Загреддинов А.Р. Повышение энергоэффективности контролем трубопроводных систем: монография. — Казань: Изд-во Казанского университета, 2022. — 142 с.

Е.И. Архипов, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ И ПРОФИЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ НА КАЛИБРОВОЧНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ ПАРОГЕНЕРАТОРНЫХ ТРУБ

Основными характеристиками при многочастотном вихретоковом контроле парогенераторных труб дифференциальным преобразователем, по которым судят о наличии и глубине дефекта, являются амплитуда сигнала и угол наклона годографа к вещественной оси на разных частотах.

Замечено, что при контроле продольных дефектов (типа трещины) на внутренней поверхности трубы глубина дефекта сильно влияет на амплитуду сигнала и может быть определена с помощью соответствующей калибровочной характеристики «глубина — амплитуды годографа».

Как правило, наиболее характерные дефекты (трещины) образуются на внешней стороне поверхности трубы (до 95%). При контроле таких продольных дефектов их глубина сильно влияет на угол наклона годографа к вещественной оси (рис. 1). Поэтому глубина дефекта может быть определена с помощью калибровочной характеристики зависимости угла наклона годографа от глубины дефекта (рис. 2).

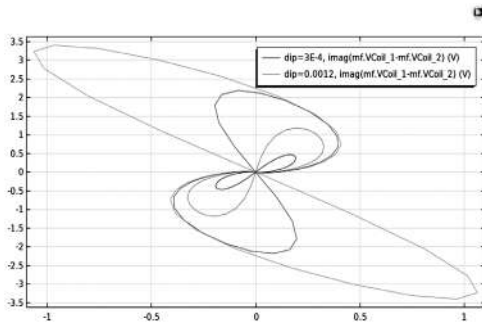


Рис. 1. Годографы сигнала для разных значений глубины внешнего дефекта

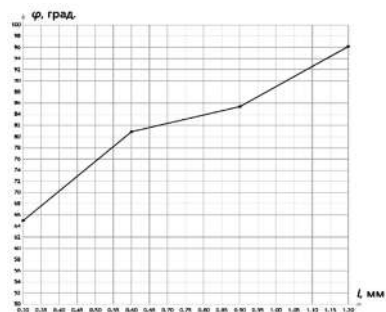


Рис. 2. Зависимость угла наклона годографов от глубины внешнего дефекта

Задачей исследования было построить конечно-элементную модель (в среде COMSOL Multiphysics) процедуры контроля участка парогенераторной трубы с внутренними и внешними дефектами различной осевой длины и глубины; провести моделирование; получить калибровочные характеристики; найти коэффициент корреляции между фазой и глубиной дефекта и коэффициент корреляции между амплитудой и глубиной дефекта на частотах 25, 100, 200 кГц; определить влияние неконтролируемых факторов, таких как произвольная длина и профиль продольного дефекта, на характеристики.

**Направление III**  
**БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**И ИНФОРМАЦИОННЫЕ**  
**ТЕХНОЛОГИИ**  
**Security and information technology**

---

**Руководитель направления:**

Директор инженерно-экономического  
института НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент  
Невский Александр Юрьевич

**Секция 19**  
**ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**Information security**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Минзов Анатолий Степанович*

*Секретарь секции: Агуреев Иван Александрович*

*И.В. Басов, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ И КЛАССИФИКАЦИИ УРОВНЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ КИИ**

ФСТЭК 5 февраля 2021 года была принята методика по оценке угроз безопасности информации [1]. Данная методика не раскрывает в полной мере способы классификации при многофакторном анализе угроз. Анализ методов классификаций показал следующие формы классификации:

1. Проведение экспертных оценок с использованием коэффициента конкордации при расчёте политического и репутационного ущерба;
2. Многофакторное моделирование оценок параметров последствий для факторов социального ущерба, экологического и экономического ущерба;
3. Использование базы знаний оценки параметров негативных последствий при авариях и разрушениях.

Таким образом, получается, что если часть параметров довольно просто оценить экспертами, то многофакторное моделирование и использование базы знаний требуют определённых научных исследований по представлению метода моделирования и поиска моделей необходимых для исследования. Также необходимо определить параметры из базы знаний, в которых рассматриваются аналогичные ситуации и их последствия. Отсюда вытекает то, что вторая и третья задача предполагают проведение научных исследований и являются целью настоящей работы.

Основные этапы исследований следующие:

- Разработка методики проведения экспертных оценок;
- Исследование методов моделирования оценок параметров последствий социального, экологического и экономического характера;
- Разработка системы накопления данных базы знаний о негативных последствиях, которые могут быть на типовых объектах КИИ.

Работа предполагает быть реализована, а верификация будет апробирована на прототипе информационно-интеллектуальной системы. Результаты могут быть использованы в том числе и при подготовке специалистам методических рекомендаций по моделированию актуальных угроз.

### **Литература**

1. **Методический документ.** Методика оценки угроз безопасности информации (утв. Федеральной службой по техническому и экспортному контролю 5 февраля 2021 г. (ред. от 16.02.2021)).

*А.С. Осминкин, студ.;  
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ НЕПРЕРЫВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

В сообществе информационной безопасности и нормативно-правовых актах [1, 2] закрепилось правило уделения внимания только основным целевым свойствам информации. Игнорирование достижения иных свойств защищаемых информационных ресурсов, а в частности свойства непрерывности потенциально лишает предприятия возможности более бережно, гибко, эффективно и экономно спланировать и выстроить систему обеспечения информационной безопасности.

В данной работе разрабатывается и реализуется алгоритм планирования рисков непрерывности бизнеса с позиций информационной безопасности для объектов критической информационной инфраструктуры за счёт преодоления ряда этапов, включающих в себя:

1. Определения исходных данных для создания системы планирования.
2. Поиска и разработки новых моделей планирования с учетом применения теории нечетких множеств.
3. Реализации программного решения на основе собранных данных.
4. Создания модели информационной системы абстрактного объекта критической информационной инфраструктуры и применения к ней реализованного решения.

В результате выполнения настоящей работы может повыситься защищенность критических информационных инфраструктур без внесения изменений в существующие требования к обеспечению безопасности, закрепленных в нормативно-правовых актах, за счет введения дополнительного механизма непрерывности бизнеса с позиций информационной безопасности, основанного на восстановлении работоспособности защищаемых компьютерных систем, перешедших в аварийное состояние из-за непредусмотренных инцидентов.

### **Литература**

1. **Приказ** ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (ред. от 20.02.2020 № 35).
2. **Федеральный закон** от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

*А.С. Денисов, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТЕКСТОВОГО РЕДАКТОРА**

В современном обществе нельзя представить человеческую деятельность без информационных ресурсов. Благодаря развитию информационных технологий наша деятельность напрямую зависит от электронных ресурсов. Ввиду такого быстрого и повсеместного внедрения возникает ряд вопросов, связанных с системной обеспечением информационной безопасности объектов информатизации.

Актуальность данной темы обусловлена ростом уязвимостей в тестовом редакторе. По статистике Microsoft Word используют 1,2 миллиарда человек, поэтому необходимо проанализировать текущие уязвимости и улучшить архитектуру безопасности.

Архитектура безопасности ПО включает в себя структуру целей, применимых как к отдельным элементам системы управления, связанных с обеспечением безопасности, так и к комплексу таких элементов.

Целью данной работы является методика проектирования архитектуры безопасности текстового редактора.

На данный момент известны следующие угрозы исследуемой программы:

1. угроза внедрения вредоносного кода или данных;
2. угроза воздействия на программы с высокими привилегиями;
3. угроза восстановления аутентификационной информации;
4. угроза доступа к защищаемым файлам с использованием обходного пути.

Таким образом, в процессе исследования необходимо разработать методы решения выявленных уязвимостей, усовершенствовать архитектуру безопасности.

Планируемым результатом исследования является оценка и улучшение архитектуры безопасности редактора включающая:

1. система аутентификации;
2. система авторизации;
3. контроль целостность документа;
4. шифрование документа;
5. распределение прав доступа.

Необходимо создать устойчивый механизм безопасности, при котором работа в этом текстовом редакторе будет считаться безопасной.

### **Литература**

1. Банк данных угроз безопасности информации — [Электронный ресурс] — URL: <https://bdu.fstec.ru/vul>



*В.А. Чемерева, студ.;  
рук. С.Ю. Трофимцева, к.ф.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА УСЛОВИЙ ПЕРЕДАЧИ ОБЕЗЛИЧЕННЫХ ПДН И РЕЖИМОВ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ ПДН**

Повсеместная информатизация общества приводит к ситуации, когда рядовые пользователи (субъекты ПДн) практически не могут избежать своего вовлечения в работу различных информационных систем, что в свою очередь ставит субъектов под угрозу компрометации.

В [1] обезличивание ПДн рассматривается как одна из мер защиты ПДн, но не затрагиваются вопросы передачи обезличенных ПДн третьим лицам. Вопрос передачи обезличенных ПДн третьим лицам не раз рассматривался министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, но не был закреплен в данном Федеральном законе или других нормативно-правовых актах. В [2] не рассматриваются особые условия передачи обезличенных ПДн по причине вводимых в использование свойств, обезличенных ПДн, одним из которых является анонимность. Данное свойство исключает идентификацию субъекта в обезличенных ПДн, хотя на практике в связи с развитием технологий Big Data возможность идентификации в обезличенных ПДн возрастает.

В процессе исследования для достижения результата необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ используемых технологий и методов обезличивания ПДн;
- определить влияние условий передачи обезличенных ПДн на вероятность идентификации субъекта ПДн;
- провести анализ использования необходимых мер ответственности для операторов ПДн при нарушении условий передачи, обезличенных ПДн;
- определить меры контроля передачи обезличенных ПДн.

Планируемым результатом исследования является определение условий передачи обезличенных ПДн, не нарушающих права субъектов ПДн, которые позволят совершать передачу обезличенных ПДн третьим лицам минимизируя риски идентификации субъекта ПДн. Для соблюдения условий передачи обезличенных ПДн планируется определить режимы ответственности для операторов ПДн.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» (ред. от 14.07.2022)
2. Методические рекомендации по применению приказа Роскомнадзора № 996 «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных» от 5 сентября 2013 г.

*Ф.Б. Максимов, студ.;*  
*рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЛАНИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

На данный момент в существующих нормативно-правовых документах ФСТЭК не рассматриваются вопросы непрерывности бизнес-процессов, однако в Федеральном Законе «О безопасности критической информационной инфраструктуре Российской Федерации» от 26 июля 2017 года № 187 ключевым принципом обеспечения безопасности КИИ РФ является обеспечение непрерывного функционирования объектов критической информационной инфраструктуры [1]. При этом в подзаконных и ведомственных актах непрерывность не выделяется как отдельная функция защиты функционирования ОКИИ от прерывания. Из-за этого возникает неопределённость обеспечения непрерывности БП в СМИБ организации.

Задачей планирования непрерывной работы БП организации является выделение основных параметров непрерывности, которые оказывают влияние на СМИБ. К таким параметрам могут быть отнесены: критическое время восстановления процессов; объём затрат при нарушении непрерывности; способы восстановления процессов и др.

Целью работы является создание методик планирования действий персонала при возникновении инцидентов ИБ, направленных на обеспечение непрерывности бизнес-процессов.

Планируемым результатом выполнения работы является разработка плана восстановления работы БП после произошедшего инцидента ИБ, который привёл к остановке системы, а также разработка обучающего кейса по обучению методам и технологии восстановления БП СМИБ на модели организации. Обучающий кейс должен быть основан на исходных данных БП СМИБ организации, и в нём необходимо определить:

- категории обучающихся;
- роли обучающихся;
- критерии оценки знаний обучающихся;
- варианты контроля реализации методики обучения.

Также необходимо создать центр обучения, где сотрудники смогут получать сертификаты о пройденных обученных, и обращаться за помощью к корпоративной базе знаний.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 26 июля 2017 г. № 187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

*А.Д. Коноваленко, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ПРОТИВОДЕЙСТВИЮ ФИШИНГОВЫМ АТАКАМ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В современном мире системы защиты становятся все совершеннее, что позволяет предотвращать множество кибератак на ИС. Но даже такие системы не способны защитить от человеческого фактора. Именно он является основной причиной успешного фишинга. 95% всех атак на корпоративные сети являются результатом успешного целевого фишинга.

В сфере атак на корпоративные системы фишингу предшествует тщательный сбор и анализ информации об объекте и субъектах атаки. Это необходимо для разработки продуманного социотехнического сценария и добавления деталей, позволяющих ввести в заблуждение получателей письма [1].

Целью работы является создание методического обеспечения по противодействию фишинговым атакам на этапе их подготовки и обнаружения применения злоумышленником методов социальной инженерии при подготовке фишинговых атак.

Для успешного решения этой задачи будут использоваться методы проактивной защиты для нахождения следов применения социальной инженерии (попытки получения информации об объекте, пробные попытки получения доступа в систему с помощью прав доступа объекта, получение информации о системе) и следы атак в трафике информационной системы. При этом, будут использоваться методы графической визуальной интерпретации событий и обнаружения корреляций между ними.

Результатом работы будет являться разработка методического обеспечения по противодействию фишинговым атакам на этапе их подготовки и обнаружения применения злоумышленником методов социальной инженерии при подготовке фишинговых атак. Кроме этого, будет проведена оценка эффективности применяемым технологиям противодействия. По результатам исследования будут разработаны рекомендации по выявлению фишинга на начальном этапе работы злоумышленника, определение действий персонала по противодействию фишинговым атакам, советы по организации киберучений и рекомендации по оценке противодействия фишинговым атакам.

### **Литература**

1. Сафонов Л. Фишинг в корпоративной среде [Электронный документ] [tps://habr.com/ru/post/271597/](https://habr.com/ru/post/271597/) (дата обращения 19.09.2022)

*Е.А. Модина, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНЦЕПЦИИ DEVOPS

Методология DevOps была разработана для устранения противоречий между разработкой, эксплуатацией, безопасностью ИТ-технологий. Отсюда появилось новое направление, которое связано с решением вопросов безопасности при проектировании ИТ-технологий.

В процессе создания безопасных приложений выделяются следующие команды. На первом этапе команда бизнеса определяет продуктовый функционал, на основе которого команда разработки занимается написанием кода. Задача DevSecOps автоматизировать анализ безопасности данных для сборки с помощью подключения инструментов к конвейеру CI/CD (рис. 1).



**Рис. 1.** Этапы работы методологии DevSecOps

Работа посвящена разработке прототипа нагруженной и масштабируемой системы разработки ИТ-технологии DevOps. Прототип продемонстрирует, как с помощью проверенных инструментов сделать процессы контейнеризации, сборки, доставки и проверки на безопасность быстрее и качественнее. Основные направления, которые стоит рассмотреть в работе в следующие:

1. Ускорение разработки ПП на всех этапах жизненного цикла разработки программных продуктов.
2. Сокращение цикла разработки ИТ-технологии за счет применения микроциклов.

### Литература

1. Манифест гибкой методологии разработки программного обеспечения. [Электронный ресурс] URL: <https://www.agilealliance.org> (дата обращения: 03.12.2022).

*К.А. Баскаков, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ НА ОСНОВЕ ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013**

Тестирование на проникновение — экспериментальная проверка с целью оценивания состояния ИБ и выявления уязвимостей объекта тестирования (тестируемой системы) путем интегрального и целенаправленного применения против него специальных средств и способов ИТВ и ИПВ [1]. Тестирование на проникновение необходимо для того, чтобы оценить реальный уровень защищенности информационной системы организации.

Стандарт [2] описывает общую методологию оценки безопасности информационных технологий и позволяет оценить все возможности по использованию и идентификации уязвимых мест в системе организации. В стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013 представлен минимальный необходимый перечень действий, выполняемых оценщиком при проведении оценки по [3], с использованием критериев и свидетельств оценки. Взаимоотношение стандартов [2] и [3] заключается в том, что [2] определяет семейства доверия, а [3] представляет детализированное руководство по идентификации актуальных потенциальных уязвимостей при проведении объекта оценки.

Таким образом, целью исследования работы является разработка комплекса организационных и технических мер для проведения тестирования на проникновение на основе требований ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013.

В методике будут определены следующие основные этапы тестирования объекта: подготовка к тестированию, разведка, анализ информации и рисков, попытка активного вторжения, анализ результатов и документирование.

Планируемым результатом исследования является новая методика проведения тестирования на проникновения, эту методику можно использовать на этапе предварительной оценки защищенности объектов или же тестирование конечного продукта, введенного в эксплуатацию.

### **Литература**

1. **Макаренко С.И.** Аудит безопасности критической инфраструктуры специальными информационными воздействиями.
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий.
3. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий.

*В.А. Леонов, студ.; рук. Н.В. Унижаев, профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

С возрастанием сложности систем телекоммуникации, систем связи и систем управления возрастает количество инцидентов и атак. Инциденты информационной безопасности могут оказывать прямое или косвенное негативное воздействие на бизнес-деятельность организации. При этом, обычные методы расследования инцидентов становятся менее эффективными и возникает необходимость использования современных систем обработки больших объемов данных, таких как Data Mining [1]. Эта система включает в себя следующие технологии: методы классификации, моделирования и прогнозирования.

Целью исследования являлось: на ранних стадиях обнаруживать инцидент, проводить расследование сценариев атак на основе анализа событий и предупредить его появление в будущем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ возможностей методов и технологий Data Mining для достижения этой цели.
2. Снизить размерность множества событий, путем задания условий параметров фильтров и использованием технологий Online Analytical Processing (OLAP) и на основе этого провести графически-визуальный анализ.
3. Выявить корреляции между событиями в подмножестве событий, применяя метод корреляционного анализа, методы кластерного анализа.
4. Определить траектории возникновения событий и построить сценарий инцидента.

Внедрение интеллектуального анализа данных позволит автоматизировано просматривать данные журналов событий и базы данных и своевременно обнаруживать вредоносные программы, сетевые или системные проникновения и внутренние атаки, что поспособствует работе аналитика и группы расследования инцидентов информационной безопасности.

Полученные результаты могут быть использованы практически при разработке модулей расширения обработки сценариев событий в SIEM системах (Security Information and Event Management).

### **Литература**

1. **Sumeet Dua, Xian Du** Data Mining and Machine Learning in Cybersecurity. Auerbach Publications; [электронный ресурс]. — [https://doc.lagout.org/Others/Data %20Mining/Data%20Mining%20and%20Machine%20Learning%20in%20Cybersecurity%20%5BDua%20%26%20Du%202011-04-25%5D.pdf](https://doc.lagout.org/Others/Data%20Mining/Data%20Mining%20and%20Machine%20Learning%20in%20Cybersecurity%20%5BDua%20%26%20Du%202011-04-25%5D.pdf)

*В.В. Каменский, студ.;*  
*рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯМ КОМПЬЮТЕРНОГО АУДИТА НА ОСНОВЕ КЕЙС-МЕТОДА**

В связи с актуальностью проблематики угроз и уязвимостей в киберпространстве особую значимость приобретает совершенствование систем защиты информации. Одним из методов совершенствования системы защиты информации в организации является проведение аудита с использованием компьютерных технологий, основными задачами которого являются:

1. Оценка уровня защищенности компьютерной системы путем выявления её компонентов для предупреждения эксплуатации уязвимостей в инфраструктуре информационной системы [1].
2. Оценка соответствия СМИБ требованиям политик информационной безопасности организации.
3. Оценка безопасности архитектуры проверяемой информационной системы [2].

Цель настоящей работы заключается в разработке обучающего кейса для проведения аудита информационной системы организации с применением инструментов компьютерного аудита. Исходя из поставленной цели, были выделены следующие задачи:

1. Анализ существующих инструментов и способов проведения компьютерного аудита информационных систем.
2. Определение исходных данных и компьютерных инструментов, которые планируется использовать в ходе разработки кейса.
3. Разработка обучающего кейса по технологиям аудита информационной системы организации на основе выбранного подхода и инструментов компьютерного аудита.

Разработанный кейс должен обеспечивать следующие функции, связанные с обучением и контролем:

1. Обеспечение вариативности исходных данных.
2. Возможность использования при самообучении.
3. Возможность использования в программе сертификации специалистов по направлению компьютерного аудита [3].

### **Литература**

1. **Angel R. Otero.** Information Technology Control and Audit. Fifth Edition. Taylor & Francis Group, 2019.
2. **Peter Kim.** The Hacker Playbook 3: Practical Guide To Penetration Testing. Secure Planet LLC, 2018.
3. **Stafford, T., Deitz, G. and Li, Y.** The role of internal audit and user training in information security policy compliance, Managerial Auditing Journal, Vol. 33 No. 4, pp. 410–424, 2018.

*О.С. Фролов, студ.; рук. И.В. Капгер, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ ПРАВ В ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Авторские права возникают в момент создания произведения. В России регистрация авторских прав предусмотрена только в отношении программ для ЭВМ и баз данных — процедура добровольная, а не обязательная, для всех иных случаев порядок процедуры регистрации не установлен. Так как автор в любой момент может столкнуться с воровством и нарушением прав, некоторые используют такой способ, как наложение на изображение водяного знака с логотипом или именем автора, обозначая авторские права на видео.

Однако при этом возникает задача оценки уровня доверия к этим методам. Отсюда целью работы является разработать единую платформу для защиты авторского права в видеоизображениях. Данная платформа должна будет иметь множество функций по улучшению и удобству защиты авторских прав в видеоизображениях. Платформа будет работать на методах стеганографии, что позволяет не только скрытно передавать данные источника копирования, но и решать задачи помехоустойчивой аутентификации, защиты информации от несанкционированного копирования, отслеживания распространения информации по сетям связи, поиска информации в мультимедийных базах данных.

Таким образом, в процессе исследования необходимо разработать программу для действий по защите видеоизображений. Платформа позволит найти источник копирования видеофайла, с датой его размещения, а также другую информацию, которая будет являться доказательной базой в инциденте. Например, патент или регистрационные данные. Также требуется разработать скрытые маркеры или скрытие изображения, которые позволяют установить источник копирования данного видеофайла.

Планируемым результатом исследования является создание платформы, безопасной и удобной защиты авторских прав в видеоизображениях. Главным критерием к разработке данной платформы является сбор доказательной базы. Будет использоваться такая защита, как конвертация видеофайла в требуемый формат. Также планируется в платформе создание или загрузка водяного знака с последующим простым внедрением его в видео для защиты прав автора. При загрузке видеофайла в программу будет разработано шифрование данного файла с целью безопасной передачи, а также будет применён метод стеганографии.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р 7.0.1-2003.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу издания. знак охраны авторского права.



Д.О. Грачева, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЗАЩИТЫ И ЗАДАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ В ЗАЩИЩЕННОМ ИСПОЛНЕНИИ

В настоящее время все большую опасность для автоматизированных систем представляют киберугрозы и кибератаки. Ежедневно меняются способы их реализации на объекты, что вызывает опасение у владельцев за их информационные активы. Несмотря на то, что в ходе работы рассматривается автоматизированная система в защищенном исполнении, нельзя исключать внешние угрозы, которые могут происходить от смежных подсистем, взаимодействующих с данной системой.

На рис. 1 представлена часть схемы автоматизированной системы, в которой продемонстрированы основные каналы, требующие особого внимания. Данные каналы имеют две однонаправленные линии связи.

При полном рассмотрении возможных угроз, описанных в профиле защиты и задании по безопасности, можно утверждать, что автоматизированная система в защищенном исполнении имеет доверенную среду. Именно поэтому целью работы является организация доверенной среды безопасности на этапе проектирования автоматизированной системы в защищенном исполнении на основе требований «Общих критериев» (ОК).

Планируемым результатом исследования является создание совокупности требований безопасности, имеющих название в терминологии «Общих критериев» — профиль защиты и задание по безопасности [1].

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1,2,3-2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.

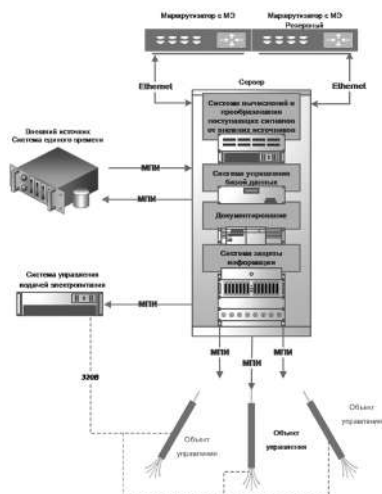


Рис. 1. Схема автоматизированной системы в защищенном исполнении

*Н.Д. Монахов, студ.; рук. Д.Н. Власкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ**

Массовая пандемия создала необходимость введения новых форм работы сотрудников вне офиса, многие компании осознали удобность удаленной работы, она требует меньше капиталовложений на обеспечение и содержание рабочего места, позволяет работать сотрудникам из любой точки мира, однако при организации работы в режиме удаленного доступа возникают дополнительные проблемы, связанные с безопасностью, появились новые угрозы, которые ранее не предусматривались системами безопасности.

Работа сотрудников из дома связана с отсутствием достаточного контроля, чем провоцирует большее количество рисков утечки и модификации информации, небезопасный вариант — персональный компьютер с устаревшей операционной системой, либо нелегализованной версией ОС, провоцирующий риски, связанные с целостностью.

В существующих рекомендациях по системе требований к защите информации при удаленной работе отсутствуют рассмотрение элементов контроля целостности рабочей среды, не рассмотрены принципы контроля рабочего места и его состояния, нередко сотрудники могут забывать блокировать ПК, тем самым третьи люди могут иметь доступ к среде, что провоцирует риски связанные с многопользовательским режимом работы. Не контролируется обеспечение безопасности в виртуальной среде. Также не уделено должного внимания обеспечения безопасности канала коммуникации, многие компания пользуются общедоступными сервисами.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет провести анализ существующих технологий обеспечения безопасности удаленного доступа, рассмотреть модель угроз и условий, при которых осуществляются выявленные угрозы, создать механизм контроля за средой разработки, каналом коммуникаций, разработать рекомендации по обеспечению безопасности удаленной работы сотрудника.

Планируемым результатом исследования является создание совокупности рекомендаций, условий, ограничений работы персонала, а также способов контроля за их деятельностью для обеспечения безопасного подключения.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021.** Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности // Издательство стандартов. — 2021.

*М.А. Пасова, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МЕНЕДЖМЕНТА НЕПРЕРЫВНОСТИ БИЗНЕСА**

В настоящее время вопросы информационной безопасности в рамках менеджмента непрерывности бизнеса становятся наиболее обсуждаемыми в организациях, относящихся к КИИ. Поднимаемые вопросы касаются восстановления функционирования критических информационных инфраструктур вследствие реализации кибератак на их системы управления.

На данный момент не существует общепринятой модели непрерывности функционирования объектов КИИ, несмотря на большое количество нормативных документов в рассматриваемой области. При этом в правовой документации по обеспечению информационной безопасности КИИ не предусматриваются механизмы планирования и менеджмента непрерывности функционирования критической информационной инфраструктуры. В рамках моделирования непрерывности бизнеса с точки зрения информационной безопасности необходимо определить условия обеспечения бесперебойной работы, основывающиеся на таких параметрах, как допустимое время простоя, время восстановления системы после прерывания, объем затрат на восстановление, необходимость обеспечения ресурсов и т.д. Описать условия непрерывности функционирования информационной безопасности на основе времени восстановления можно следующим образом:

$$\forall r_i, (r_i \in R), (r_i \leq r_0), \neg \exists (\Delta t_i > \Delta t_0),$$

где  $\Delta r_0$  — допустимое значение риска обеспечения непрерывности, при котором восстановление нарушенных отдельных процессов не вызывает недопустимых по длительности остановок процессов  $\Delta t_0$ .

Таким образом целью работы является создание системы непрерывного функционирования объектов критической информационной инфраструктуры, ориентированной на риски своевременного восстановления  $r_i$  системы управления КИИ после возникновения инцидентов информационной безопасности вследствие реализации кибератак.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 26 июля 2017 г. №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры».
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021**. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности // М.: Стандартинформ. — 2021.

*С.Е. Абрамов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ РЕАГИРОВАНИЯ НА КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНЦИДЕНТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ (SOC)**

С развитием информационных технологий в мире, развиваются и технологии реализации компьютерных атак [1]. Одним из наиболее актуальных и современных способов реагирования на компьютерные атаки, является технологии центра управления информационной безопасностью (Security Operation Center, SOC). Построение собственного центра управления информационной безопасности является сложной организационной, технической и технологической задачей, решение которой должно быть обоснованным. Отсюда возникает вопрос оценки эффективности и целесообразности создания своего центра управления информационной безопасностью.

Критериями оценки эффективности работы центра будут являться: время обнаружения инцидента, количество инцидентов в работе у конкретного специалиста за определенный период времени, время реакции на инцидент и восстановление информационной системы, отношение количества обработанных инцидентов к их общему количеству, количество ложных срабатываний средствами защиты информации. Практическая эффективность можно оценить с помощью технологии моделирования инцидентов информационной безопасности и оценкой величины возможного ущерба при его реализации. При расчете экономической эффективности будут учтены следующие показатели: ущерб, который наносит инцидент в момент возникновения, затраты, которые будут направлены на восстановление системы и ущерб организации, нанесенный за период простоя информационной системы [2].

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет разработать комплексное решение для реагирования на компьютерные инциденты на базе SOC с оценкой практической и экономической эффективности от его внедрения в архитектуру информационной безопасности.

### **Литература**

1. **Актуальные киберугрозы:** IV квартал 2020 года // Отчет Positive Technologies [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020-q4/> (дата обращения 30.09.2022)
2. **Cisoclub:** официальный сайт — 2020. — URL: <https://cisoclub.ru/> (дата обращения 30.09.2022)

*С.Ю. Рыжов, студ.; рук. А.О. Горбенко, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОГИСТИКА ОРГАНИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Разработка документации является обязательным этапом внедрения системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ), в связи с чем возрастает роль логистической организации документооборота. Логистика документооборота рассматривает процессы, связанные с созданием, организацией, контролем и управлением движения документов. От состояния логистики организации документооборота зависит и качество архитектуры СМИБ.

Система документооборота СМИБ включает в себя следующие элементы:

1. Общая модель логистики организации документооборота СМИБ, состоящая из минимального набора документов в области информационной безопасности (ИБ), их принципов, последовательности создания и взаимодействия.
2. Модель документа в области ИБ. Анализ системных свойств электронного документа как признаков целостного объекта позволяет сгенерировать параметры документа, пересмотреть функциональные возможности автоматизированных информационных систем электронного документооборота [1].
3. Методические рекомендации по разработке систем электронного документооборота СМИБ. Необходимы для эффективного управления СМИБ, могут применяться в учебных заведениях, для сертификации систем и повышения осведомленности персонала.

Целью работы является разработка методики создания полной модели документооборота СМИБ организации и ее отдельных документов.

Задачами данной работы являются:

1. Создание модели логистики организации документооборота СМИБ.
2. Разработка моделей документов в области ИБ, необходимых для функционирования СМИБ организации.
3. Формулирование методических рекомендаций для оптимизации логистики документооборота СМИБ.

Результатом написания данной работы должна стать универсальная и рабочая система логистической организации документооборота СМИБ компании в концепции ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021.

### **Литература**

1. **Тали Д.И.** Принципы целостности и интегративности в формировании электронного документа. // Правовая информатика, 2022. — № 3.

*И.В. Кульков, студ.;*  
*рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА ДЕЛОВОЙ ИГРЫ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ФСТЭК РОССИИ**

Актуальной проблемой образования в сфере информационной безопасности является определение эффективного подхода к формированию профессиональных компетенций специалистов. Для решения этой задачи в современном образовательном процессе используются активные методы обучения: кейсы, деловые игры, киберучения, тренинги и другие формы подготовки. Такие формы обучения в сфере информационной безопасности находят слабое применение, чем и определяется актуальность исследования.

Задача по эффективному созданию системы защиты конфиденциальной информации в АСУ по регуляторным требованиям, на основе которых осуществляется организация и построение систем безопасности, является одним из условий подготовки будущих специалистов ИБ.

Одним из регулирующих органов по информационной безопасности является Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России, которая в рамках своих полномочий формирует методики по информационной безопасности.

Деловые игры по информационной безопасности на основе требований ФСТЭК России позволят сформировать подход к обучению посредством обучающе-контролирующей модели получения знаний и навыков.

Целью написания работы является разработка варианта проведения деловой игры по информационной безопасности на основе требований нормативных документов ФСТЭК России для формирования профессиональных компетенций в области построения защиты информационных систем на основе требований по информационной безопасности. В процессе разработки концепции деловой игры определен следующий порядок решения: определение замысла деловой игры, разработка вариантов модели заданий, исходных данных, методических материалов этапов и форм отчетности их выполнения.

### **Литература**

1. **Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р., Унижаев Н.В.** Некоторые подходы к формированию профессиональных компетенций в сфере информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. № 25. С. 156–160. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25030635&> (дата обращения: 08.10.2021)
2. **ISACA.** COBIT 5. A Business Framework for the Governance and Management of Enterprise IT

*П.Г. Нахабин, студ.;*

*рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ИГРОВОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ДЕЛОВОЙ ИГРЫ**

На сегодняшний день традиционные методы обучения в сфере информационной безопасности имеют слабую практическую ориентированность на получение компетенций, что является актуальной проблемой. Одним из подходов решения данной проблемы является применение игровых форм обучения специалистов на основе деловой игры.

Деловая игра является хорошо апробированной методикой в образовательном процессе, позволяющей эффективно получать знания и навыки, так как сочетает в себе решение практических ситуаций и теоретические аспекты обучения. С помощью деловой игры, специалист получает компетенции путем вовлечения в процесс, что обеспечивает высокий результат усвоения полезной информации.

Целью написания работы является разработка методики применения игровой формы обучения кибербезопасности для улучшения качества подготовки кадрового состава специалистов по направлению кибербезопасности.

Планируемым результатом исследования является методика применения игровых форм обучения по направлению кибербезопасности в формате деловой игры. Деловая игра должна обеспечить задание актуальных исходных данных по модели организации. В качестве методики проведения выбран тип поисковой ролевой игры, без ограничения по времени, балльной оценкой и свободным конечным результатом. Методика основывается на примере реализации и управления систем, в соответствии с ФЗ № 187 и приказом ФСТЭК № 239. Ключевой особенностью деловой игры может являться сертифицирование сотрудников. Планируется провести анализ опыта применения игровой формы обучения в различных сферах деятельности, разработать этапы проведения деловой игры, сформировать критерии оценки результатов.

### **Литература**

1. Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р., Унижаев Н.В. Некоторые подходы к формированию профессиональных компетенций в сфере информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. № 25. С. 156–160. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25030635&> (дата обращения: 25.10.2022)

*С.О. Марков, студ.;*  
*рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО КЕЙСА ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Существующая система образования имеет недостаток, связанный с тем, что большое внимание уделяется теоретическому обучению, но при этом мало внимания уделяется практической части обучения, отсюда возникает необходимость овладеть кейс технологиями. Это метод активного проблемно-ситуационного анализа, основанный на обучении путем решения конкретных задач-ситуаций.

Кейс включает в себя: моделирование профессиональной среды, постановку задач, разработку методических рекомендаций по выполнению этапов задач, разработку критериев по оценке результатов этапов и оценку заключительного этапа. Модель должна быть вариативна по среде моделирования, задачам и исполнителям. Результаты должны быть легко проверяемыми, также необходимо определить трудоемкость кейса. Кейс должен включать в себя практические и самостоятельные работы.

Использование кейс-метода позволяет увидеть неоднозначность решения проблем управления рисками в сфере информационной безопасности. Цель кейс-метода состоит в том, чтобы научить учащихся: анализировать информацию; сортировать её для решения поставленной задачи; выявлять ключевые проблемы, связанные с управлением рисками; генерировать альтернативные пути решения и оценивать их; выбирать оптимальные решения и формировать порядок действий.

Преимуществами обучения управлению рисками информационной безопасности с использованием метода кейсов является [1]: возможности проведения практических занятий при минимальном уровне оснащённости аудитории; высокий уровень вовлечённости студентов в моделируемую ситуацию; фокусирование внимания студентов не только на технической части обеспечения информационной безопасности, но и на организационной; демонстрация необходимости применения методов управления рисками для обеспечения информационной безопасности; ориентация на практические аспекты обеспечения информационной безопасности в условиях реального мира.

### **Литература**

1. **Адошин С.М, Савельева А.А.** Методика подготовки и проведения семинарских занятий по информационной безопасности на основе изучения конкретных ситуаций. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [электронный ресурс]. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-podgotovki-i-provedeniya-seminarskih-zanyatiy-po-informatsionnoy-bezopasnosti-na-osnove-izucheniya-konkretnyh-situatsiy/viewer> (дата обращения: 02.11.2022).



*Н.Ю. Герасимов, студ.;*  
*рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СРЕДСТВАМИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ LINUX**

Основой защищенности информационной системы являются используемые операционные системы [1]. Исходя из современных реалий использование продуктов компании Microsoft становятся все менее вероятным, поэтому необходимость в использовании Linux систем становится более актуальным.

Заменить на одном компьютере операционную систему Windows на Linux способен ИТ-специалист с минимальной квалификацией. Сделать то же самое на сотнях и тысячах компьютеров крупной или даже средней организации без ущерба для ее процессов намного сложнее.

Отсюда возникает главная цель исследовательской работы — обеспечение перехода от проприетарных операционных систем к свободно распространяемым в крупных корпоративных организациях с сохранением безопасной среды.

Основной задачей работы является обеспечение безопасной среды штатными средствами Linux систем, а также с предустановленным комплексом средств защиты. Для достижения необходимо анализировать встроенные системы разграничения прав доступа, модульность компонентов и монолитное ядро операционной системы. Также рассмотреть взаимодействие системы с комплексом средств защиты таких как: DLP-система, SIEM, средство от НСД и антивирусные решения. Проанализировать эффективность данных решений и целесообразность использования.

Еще одной важной проблемой являются пользователи, которым придется переходить с устоявшихся практик одной операционной системы к другой [1]. Для этого необходимы организационные меры перехода, чтобы каждый сотрудник смог обеспечить комфортную и безопасную среду на своем рабочем месте.

Таким образом, в процессе исследования необходимо разработать комплексную методику, позволяющую облегчить корпоративным организациям переход на открытые операционные системы с сохранением безопасной инфраструктуры и привычных методов работы.

### **Литература**

1. Корпоративный шлюз безопасности: какие требования предусмотреть для замещения иностранной системы // Статья SecurityLab.ru [Электронный ресурс] — URL: <https://www.securitylab.ru/analytics/534516.php> (дата обращения 26.10.2022)

*Д.А. Евдокимова, студ.;  
рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КИБЕРУГРОЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Согласно статистике Positive Technologies за последнее время число инцидентов в промышленных компаниях, в частности, сферы энергетики, увеличилось, что свидетельствует о низком уровне защищенности автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетики. Для того чтобы обеспечить должный уровень безопасности таких систем необходимо определить актуальные угрозы безопасности. Моделирования угроз для АСУ ТП осуществляется в соответствии с банком данных угроз безопасности ФСТЭК России и утвержденной методикой [1].

Однако последняя внесенная угроза в банк данных угроз безопасности ФСТЭК России датируется 2020 годом и не учитывает развитие навыков злоумышленника. Также наиболее вероятной угрозой, связанной с нарушением доступности для АСУ и ее компонентов, является угроза приведения системы в состояние «отказ в обслуживании». Однако данная угроза не отражает особенности автоматизированных систем управления промышленных объектов, для которых нарушение доступности может привести к причинению ущерба жизни и здоровью людей. В новом разделе угроз ФСТЭК России [2] также отсутствуют киберугрозы, что снижает актуальность модели угроз, составленной для АСУ ТП электроподстанции.

Таким образом, в процессе исследования необходимо определить уязвимости данных систем и разработать предложения по внесению угроз, а также возможных сценариев их реализации в банк данных угроз ФСТЭК России.

Первоочередным этапом при исследовании является анализ произошедших аварий на объектах энергетики и разработка классификации угроз.

Планируемым результатом исследования является создание классификации киберугроз для АСУ ТП электроподстанции и разработка предложений по внесению выявленных киберугроз и возможных сценариев их реализации в банк данных угроз ФСТЭК России.

### **Литература**

1. Методика оценки угроз безопасности информации (утв. ФСТЭК России 5 февраля 2021 г.).
2. [Электронный ресурс] // URL:<https://bdu.fstec.ru/threat-section> (дата обращения: 20.10.2022 г.).

*Е.Ю. Марковина, студ.;*  
*рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ФСТЭК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АКТУАЛЬНЫХ УГРОЗ**

Тенденция, связанная с расширением использования систем, средств коммуникации и связи и появления новых киберугроз приводит к необходимости совершенствования системы информационной безопасности. Причиной этому служит наличие неразрывной связи между информационными технологиями и основными бизнес-процессами во всех организациях, будь то государственная служба, промышленное предприятие, финансовая структура, операторы телекоммуникаций. Существующие концепции информационной безопасности ИС и АСУ предполагают определение угроз безопасности информации. Для этого Федеральной службой по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) был разработан методический документ, который определяет порядок оценки этих угроз [1]. В новом методическом документе изложен подход к оценке угроз безопасности на основе экспертных оценок негативных последствий от их реализации, возможностей источников (нарушителей) этих угроз и сценариев их реализации. Данный подход позволяет снизить субъективность оценок при разработке модели угроз.

Цель работы разработать практические рекомендации применения методики оценки угроз безопасности для различных условий ее применения и обосновать ее работоспособность на конкретном примере.

При реализации цели будут разработаны: алгоритм оценки согласованности мнений экспертов на основе коэффициента конкордации [2], методика определения актуальных угроз безопасности информации и классификация антропогенных угроз умышленного характера на основе опубликованных угроз ФСТЭК России [3].

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем защиты информации на объекте, в процессе обучения специалистов по управлению информационной безопасностью, а также могут быть опубликованы в учебно-методическом пособии по разработке модели угроз безопасности информации.

### **Литература**

1. **ФСТЭК России.** Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. // 05.02.2021 г.
2. **Г.Ф. Ромашкина, Г.Г. Татарова** Коэффициент конкордации // 4М. 2005. № 20.
3. **ФСТЭК России,** Банк данных угроз безопасности информации [Электронный ресурс] — URL: <https://bdu.fstec.ru/threat>.

*Е.А. Куриленко, студ.; рук. доц. Н.В. Унижаев (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ**

В связи с применением ограничительных мероприятий в мире, существенно возросло количество сотрудников, которые исполняют свои обязанности удаленно. По данным «Owl Labs» рост удаленных рабочих мест за последние 5 лет составляет 44%. Таким образом, и после отмены части ограничительных мероприятий, удаленно продолжают работать более 58% сотрудников.

Проблема многих организаций в архитектуре безопасности, построенной на том, что все защищаемые устройства находятся в пределах периметра организации. Переход на удаленную работу существенно расширяет этот периметр, что и требует изменения в организации обеспечения информационной безопасности.

Для этого необходимо пересмотреть цели и задачи снижения рисков нарушения информационной безопасности, с которыми приходится сталкиваться на удаленной работе. К числу рисков информационной безопасности, связанных с удаленной работой, относятся модификация трафика, перехват паролей и конфиденциальных данных, а также взлом маршрутизаторов и перенаправление пользователей на вредоносные сайты.

Целью данной работы является исследование среды удаленной работы, разработка рекомендаций по обеспечению информационной безопасности удаленных рабочих мест и централизованного контроля в условиях удаленной работы сотрудников.

Таким образом, в процессе исследования необходимо рассмотреть среду удаленной работы и применяемые меры обеспечения информационной безопасности. Исследовать каким угрозам подвержены рабочие места в удаленной среде, а также определить какие из выполняемых процессов в ходе удаленной работы наиболее подвержены угрозам нарушения информационной безопасности. На основании этого разработать рекомендации по совершенствованию мер обеспечения информационной безопасности и централизованного контроля сотрудников.

Планируемым результатом исследования является описание среды удаленной работы, совершенствование мер обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности в условиях удаленной работы, а также разработка требований и рекомендаций для централизованного контроля удаленных сотрудников.

### **Литература**

1. **Шаньгин В.Ф.** Информационная безопасность и защита информации. — М., Москва: ДМК Пресс, 2014. — 73 с.

*И.А. Ермаков, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ЗАЩИЩЁННОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Защита персональных данных (далее — ПДн) осуществляется в соответствии с [1, 2]. Требования, представленные в [1] должны быть выполнены организациями безусловно. Эти требования построены исходя из трёх механизмов: конфиденциальность, целостность, доступность

Кроме того, дополнительно можно использовать требования, указанные в [3]. Данные механизмы кроме всего прочего учитывают и интеллектуальную собственность, и соответствие документам и процессы набора персонала, а также многое другое, что не учитывают требования стандартов по защите информационных систем персональных данных (далее — ИСПДн). Однако при использовании двух методик существует вероятность того, что не все аспекты защиты будут учтены.

Таким образом, целью работы является совершенствование методики обеспечения защиты ИСПДн на основе риск-ориентированного подхода с использованием цифровой модели обеспечения безопасности ПДн.

Для достижения цели будут решаться следующие задачи:

1. Анализ нормативно-правовой документации.
2. Построение цифровой модели системы защиты ИСПДн.
3. Предложения решений по улучшению системы защиты ИСПДн.

Совмещение двух подходов по защите ПДн на основе риск-ориентированного подхода и требований нормативных документов по защите ПДн позволит выяснить какие механизмы не учитываются при построении системы защиты и определить риски, которые в результате возникают.

В результате работы будет определена улучшенная методика по защите ИСПДн, содержащая цифровую модель системы защиты, которая будет учитывать все возможные риски. Практически данную модель можно будет для всех категорий ИСПДн вне зависимости от параметров, которые в них содержаться.

### **Литература**

1. **Приказ ФСТЭК №21** от 18.02.2013. «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в ИСПДн».
2. **Постановление Правительства РФ** от 01.11.2012 №1119. «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».
3. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021**. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности.

*Н.О. Гаврилов, студ.; рук. А.С. Минзов, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ВЕЛИЧИН**

Современные методики управления рисками для анализа каждого вида риска используют вероятность реализации угроз и ущерб от негативных последствий, но реально оценить вероятность реализации угрозы и степень наносимого ущерба крайне тяжело. В большинстве случаев эксперты в области информационной безопасности, основываясь на собственном опыте и проводят оценку, которую далее связывают с числовыми значениями. Экспертам проблематично дать точную оценку компонентам системы обеспечения ИБ организации. Исходя из этого необходимо рассматривать эти компоненты с точки зрения нечётких величин. Их можно использовать для оценки рисков ИБ, получая как качественные, так и количественные переменные.

Однако, при этом возникает задача оценки всех полученных в ходе обработки переменных. Из этого следует цель работы: разработка системы оценки показателей рисков на основе нечётких величин и нечёткого вывода, позволяющей оценивать погрешность определяемых параметров. Данная информационная технология позволит управлять рисками информационной безопасности с использованием нечетких величин, которые далее возможно рассматривать для оценки систем безопасности организации.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет разработать информационную технологию по управлению рисками информационной безопасности с использованием нечётких величин.

Планируемым результатом исследования является создание программного обеспечения, которое будет корректно функционировать в условиях отсутствия достаточного объёма информации, то есть компенсировать следующие аспекты: недостаточное количество информации об исследуемой системе, невозможность получения требуемого объёма информации, а также если какие-либо представленные данные были недостоверными. Создаваемая информационная технология даёт возможность оценивать риски информационной безопасности с использованием нечётких величин и позволяет наглядно представить состояние системы защиты информации, а также комплексно оценить возможные угрозы безопасности и получить оценки информационных рисков.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2012.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.

*В.А. Лагутин, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

В соответствии с нормативными документами [1, 2], обезличивание персональных данных (ПДн) — это действия, в результате которых становится невозможным без использования дополнительной информации определить принадлежность персональных данных конкретному субъекту ПДн. Технология обезличивания используется оператором ПДн для понижения требований к информационным системам персональных данных, что снижает финансовые затраты на их содержание и обеспечивает безопасность ПДн.

На практике механизма контроля использования дополнительной информации свободного распространения не существует, поэтому удаление части ПДн и их преобразование по определенным алгоритмам [2] недостаточно для создания полной анонимности субъекта ПДн. Отсюда возникает необходимость разработки практического подхода к гарантированному обезличиванию ПДн и повышения его эффективности и надежности.

Целью работы является создание методики и рекомендаций гарантированного обезличивания ПДн для решения определенных задач в системе государственного (муниципального) управления, в бизнесе и при проведении научных исследований. Для достижения этой цели будут решены следующие задачи:

1. Анализ правовой базы ПДн в России и за рубежом для уточнения требований и условий обезличивания ПДн при решении практических задач использования обезличенных данных.
2. Разработка методики обезличивания ПДн с гарантированной анонимизацией субъекта ПДн для решения определенных практических задач в системе государственного (муниципального) управления, в бизнесе и при проведении научных исследований.
3. Разработка предложений по совершенствованию методов защиты ПДн, контролю за их распространением и ответственности операторов ПДн.

### **Литература**

1. **Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ.** «О персональных данных»;
2. **Приказ Роскомнадзора от 5 сентября 2013 г. N 996.** «Об утверждении требований и методов по обезличиванию персональных данных».

*М.Д. Братищева, студ.; рук. С.В. Попов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ УЯЗВИМОСТЯМИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ИХ РАЗРАБОТКИ**

Одна из главных задач в ходе разработки информационных систем — обеспечить их безопасность, минимизировав количество потенциальных уязвимостей. В настоящее время являются актуальными методы гибкой разработки (Agile), однако при обеспечении безопасности разрабатываемого в таких условиях программного обеспечения возникает множество проблем. Одна из основных сложностей — управление уязвимостями, а именно, их выявление, анализ, устранение и контроль. Поэтому, компании, занимающиеся созданием информационных систем, должны организовывать тестирования своих разработок, а в случае обнаружения уязвимостей, уметь их классифицировать и принимать решение об их устранении. Для этого необходимо сформировать процесс управления уязвимостями, в том числе на этапе разработки систем.

В настоящее время формализованная методика по управлению уязвимостями на этапе разработки информационных систем в Agile-проектах отсутствует, а поиск, анализ и устранение уязвимостей в информационных системах до их ввода в эксплуатацию не является общепринятой практикой.

В ходе исследования будет разработана методика по управлению уязвимостями на этапе проектирования и создания информационных систем в концепции гибкой методологии Agile. В методике будут описаны этапы процесса тестирования уязвимостей информационных систем для специалистов по безопасности (DevSecOps), включенных в состав команды разработчиков. В методике будет представлено описание технологий тестирования, перечень метрик уязвимостей и способы их измерения.

Разработанная методика может применяться в компаниях, ведущих проекты по разработке информационных систем в гибкой методологии Agile, а также при организации учебного процесса и подготовки специалистов в области DevSecOps.

### **Литература**

1. Л. Белл, М. Брантон-Сполл, Р. Смит, Д. Бэрд. Безопасность разработки в Agile-проектах. Обеспечение безопасности в конвейере непрерывной поставки. — 2018.
2. **OWASP Foundation, Inc.** OWASP Vulnerability Management Guide (OVMG). [Электронный документ], (<https://owasp.org/www-project-vulnerability-management-guide/OWASP-Vuln-Mgm-Guide-Jul23-2020.pdf>, дата обращения 25.10.2022)



*Н.А. Храмов, студ.; рук. А.С. Минзов, профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИСПОЛНЕНИИ СМАРТ-КОНТРАКТОВ В ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН**

Интенсивное развитие информационных технологий привело к созданию новых передовых технологий управления информацией на основе блокчейн. Технология представляет собой реестр децентрализованных данных, обмен которых выполняется по безопасным каналам. Такая база данных хранит непрерывно растущий список упорядоченных записей, так называемых блоков, сгенерированных таким образом, что несанкционированная их модификация или удаление практически невозможно. Необходимыми элементами обеспечения функционирования такой децентрализованной системы являются Smart-контракты (умные контракты) — программы, которые хранят и исполняют обусловленные договоренности в правильной алгоритмической последовательности.

Однако при этом возникает задача оценки создания системы с высоким (гарантированным) уровнем доверия к ним. Решению этой актуальной проблемы посвящена эта работа. Основные этапы работы включают:

1. Анализ существующих типовых решений по реализации Smart-контрактов.
2. Определение исходных данных контрактов, способов их оценки.
3. Определение результатов выполнения работ и методов оценки их достоверности.
4. Разработка алгоритма обеспечения целостности контрактов и защиты от угроз его модификации.
5. Верификация полученных результатов на основе имитационной модели с проведением атак на целостность, достоверность и конфиденциальность Smart-контрактов и среды их выполнения.

Выполненные результаты работы будут применяться при реализации Smart-контрактов в области закупок в сфере информационной безопасности, основанных на тендерах. Следствием этих результатов является безопасная реализация Smart-контрактов, сохраняющая основные свойства передаваемой информации — конфиденциальность, достоверность, целостность.

### **Литература**

1. **Stefano Bistarelli, Gianmarco Mazzante** Analysis of Ethereum Smart Contracts [Электронный документ], (<https://www.researchgate.net/publication/331789943>)
2. **Вашкевич А.** Смарт-контракты: что, зачем и как [Электронный документ], (<https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2019/12/smart-contracts.pdf?ysclid=la9tef5um5687592894>)

*А.К. Братищев, студ.; рук. А.С. Минзов, профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ШТАТНОЙ СТРУКТУРЫ И МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕНТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Концепция классического SOC была разработана в то время, когда кибератаки носили в основном «ручной» характер, и позволяла облегчить эффективное взаимодействие между сотрудниками служб обеспечения информационной безопасности [1]. В настоящее время методы атак существенно изменились, нападения стали выполняться автоматизированным способом, и теперь они бросают вызов привычной модели SOC. По мере развития технологий в работе традиционных SOC возник ряд следующих проблем:

1. Масштабирование SOC путём увеличения штата сотрудников замедляет скорость реакции на новые угрозы.
2. Автоматизированные кибератаки стали перегружать SOC, так как злоумышленники всё чаще используют средства автоматизации для проведения кибератак.
3. Средства защиты не взаимодействуют между собой, что приводит к разрозненности информации и затрудняет автоматизацию.

Цель работы — создание модели SOC, включающую в себя структуру, персонал, выполняемые функции и техническое обеспечение.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. определить состав решаемых задач, последовательность и трудоемкость;
2. смоделировать процессы выполнения задач в SOC;
3. разработать организационно-штатную модель SOC на основании целей, задач, функций сотрудников;
4. определить состав ПО, технических средств;
5. разработать систему подготовки и слаживания персонала SOC.

Планируемым результатом исследования является создание готовой для внедрения в организацию модели SOC. Данная методика позволит специалистам по информационной безопасности компаний быстро понять, какие компоненты SOC необходимы именно им или развернуть его в полном масштабе. Также, данная модель может помочь объяснить руководству компании экономическую целесообразность построения SOC.

### **Литература**

1. **Manfred Vielberth, Fabian Böhm.** Security Operations Center: A Systematic Study and Open Challenges. — 2020.

*И.А. Ахапкин, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ И РЕАГИРОВАНИЯ НА НИХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

События, которые произошли в мире в 2022 году, отразились и на информационной безопасности в России. Количество и сложность атак на российские государственные и частные организации многократно увеличились. Санкции, введенные странами западного блока, существенно осложнили обеспечение информационной безопасности, некоторые производители средств защиты информации полностью ушли с российского рынка, другие ограничили использование и техническую поддержку своих решений. Из-за отсутствия в достаточном количестве аппаратных платформ многие компании стали использовать услуги российских облачных провайдеров [1].

Российские компании в области защиты информации Лаборатория Касперского, Positive Technologies и Group-IB разработали решения класса XDR для предупреждения инцидентов на ранних этапах, которые позволят повысить точность и увеличить продуктивность работы систем защиты. Применение расширенной системы обнаружения и устранения угроз (XDR) обеспечивает мониторинг и контроль данных на уровне сети, облака, конечных устройств и приложений, а также функции аналитики и автоматизации для обнаружения, анализа, активного поиска и устранения известных и будущих угроз [2]. Наличие данных от множества источников позволит обнаруживать большее число угроз и выявлять уклончивые угрозы, которые были бы невидимы при использовании других методов расследования. Основными технологиями системы являются: «озеро» данных безопасности с использованием ML-алгоритмов, данные о киберугрозах, запуск и исследование вредоносного ПО в изолированной среде, хостовой и сетевой мониторинг и реагирование, визуализация выявленных угроз в виде графов или цепочки атаки.

Однако на данный момент существуют некоторые сложности во внедрении и применении данных решений. Целью работы является разработка методики применения XDR в крупных корпоративных системах для предупреждения инцидентов.

Планируемым результатом выполнения работы является методика применения XDR, использование которой позволит эффективно выявлять угрозы на ранних стадиях и предоставит возможности автоматизированного предупреждения сложных продвинутых угроз.

### **Литература**

1. Новая реальность: ИТ-рынок в условиях санкций [Электронный документ], (<https://www.securitylab.ru/analytics/531000.php>, дата обращения: 13.10.2022)
2. XDR. Расширенная система обнаружения и устранения угроз. [Электронный документ], (<https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/xdr-extended-detection-and-response/>, дата обращения: 13.10.2022)

С.В. Морозов, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

## МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИИ РАССЛЕДОВАНИЯ ИНЦИДЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Современные кибератаки становятся сложнее. Злоумышленники с высоким уровнем оснащённости используют собственное вредоносное ПО и продают его менее оснащённым группировкам. Сложное вредоносное ПО может загружаться раньше ядра ОС [1]. Такое ПО сложно детектировать средствами защиты.

Для повышения эффективности расследования атак предлагается применение алгоритма, особенность которого заключается в установлении актуального уровня доступа злоумышленника к инфраструктуре, описания последствий инцидента и выделения подмножества возможных сценариев реализации угрозы. Данный алгоритм будет использоваться в качестве инструмента в расследовании инцидентов компьютерной безопасности, для разработки которой необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработка формализованной модели сценариев атак;
2. Разработка алгоритма рекуррентной процедуры восстановления наиболее вероятных сценариев кибератак;

Для решения первой задачи проанализирована матрица тактик и техник атак — MITRE [2]. Исходя из полученных данных, множество сценариев атаки — это множество возможных последовательных наборов исполнения техник из множества тактик. Для каждой тактики выделен универсальный параметр — уровень доступа к активу или информации об активе. В рамках каждой тактики данный параметр будет относиться к разным классам активов. Для тактики «Получение первоначального доступа», данный параметр будет определяться количеством системных и сетевых доступов скомпрометированного злоумышленником актива. Выделив для каждого элемента множества тактик  $T: \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  подмножество техник  $X^n: \{X_1^n, X_2^n, \dots, X_y^n\}$  и установив для каждого значения  $x_y^n \in T_n$  величину  $k$  — полученный уровень доступа, мы можем записать сценарий атаки как сумму последовательно полученных злоумышленником доступов:  $(x_1^1 \in T_1) \rightarrow (x_1^2 \in T_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_y^n \in T_n) \rightarrow R$ , где  $R$  — сумма полученных злоумышленником уровней доступа, которая привела к инциденту.

В рамках второй задачи будет разработан алгоритм расследования атак на основе параметров из модели сценариев. Идея алгоритма — сужение множества возможных сценариев атаки исходя из данных о полученном злоумышленником уровне доступа на последнем шаге атаки.

Планируемым результатом является методика расследования инцидентов ИБ на основе описанного выше алгоритма, которая позволит повысить эффективность расследования.

### Литература

1. Руководство по реагированию на инциденты информационной безопасности 2020/2021 [Электронный документ], ([https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/43/2018/03/07172131/Incident\\_Response\\_Guide\\_rus.pdf](https://media.kasperskycontenthub.com/wp-content/uploads/sites/43/2018/03/07172131/Incident_Response_Guide_rus.pdf), дата обращения: 19.10.2022)
2. Тактики и техники злоумышленников. [Электронный документ], (<https://attack.mitre.org/>, дата обращения: 20.10.2022)

*Д.М. Пучков, студ.; рук. к.т.н. О.Р. Баронов (НИУ «МЭИ»)*

## **АРХИТЕКТУРА БЕЗОПАСНОЙ СЕТИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ УСЛОВИИ ВНЕШНЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЗАКАЗЧИКАМИ**

В современных автоматизированных и информационных системах, архитектура безопасной сети, является важнейшим элементом общей информационной безопасности, от правильности построения которой, напрямую зависит защищённость инфраструктуры организации и снижение уровня последствий, связанных с различными видами угроз и кибератак.

Наиболее сложное построение структуры в условиях гетерогенности среды, связанных с разнообразностью механизмов доступа, моделей конфиденциальности, видов информации, решается для построения архитектуры организации, которая оказывает услуги внедрения, аутсорсинга и консалтинга, где это является важной имиджевой задачей, чтобы обезопасить не только собственную сеть, но и сеть заказчиков. Взаимодействие внутренних информационных систем таких организаций, чаще всего разнонаправленные, что может пагубно влиять на безопасность инфраструктуры. В работе будет рассмотрена схема инфраструктуры, представленной в общем логическом виде на рисунке 1.



**Рис. 1.** Общий логический вид инфраструктуры организации

Целью работы, является создание безопасной архитектуры сети для гетерогенной инфраструктуры организации, в которой присутствует большое количество сетевых взаимосвязей между различными сегментами и компонентами сети, необходимых для тестирования технологических решений.

Основными задачами, являются: сегментирование инфраструктуры, с категоризацией информационных систем и информации; снижение вероятности возникновения кибератак и утечки конфиденциальной информации; настройка различных средств защиты информации; аудит и реорганизация межсетевых взаимосвязей; функциональное разделение организационной структуры организации.

### **Литература**

1. **Sairam J., Sagar R.**, Securing Network Infrastructure: Discover practical network security with Nmap and Nessus 7, — Packt Publishing Ltd, — 2019, — 538 pages, — ISBN: 9781838642303.

*М.А. Руднева, студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ, ОБНАРУЖЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПО СКРЫТЫМ КАНАЛАМ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ**

За последние годы развитие сферы ИТ значительно ускорилось, что предопределило увеличение количества угроз, которым подвергается обрабатываемая на ПЭВМ информация. Наряду с «традиционными» техническими каналами утечки информации за счет естественных процессов функционирования элементов ПЭВМ, имеют место скрытые каналы передачи данных, формируемые вредоносным ПО, представляет собой одну из наиболее актуальных проблем для специалистов по информационной безопасности.

Актуальность вопросов обеспечения безопасности ПЭВМ, которые используются повсеместно для обработки информации, и определила выбор темы исследования. ПЭВМ всегда подвержена риску внедрения вредоносного ПО, которое функционально способно:

- использовать оперативную память компьютера (шины SDRAM), вызывая определенные инструкции, связанные с обращением к ней, для модуляции и передачи электромагнитных сигналов на сотовых частотах;
- формировать утечку данных с помощью низкочастотного (менее 50 Гц) магнитного поля, индуцируемого ядрами процессора компьютера за счет управления их нагрузкой;
- задействовать для формирования скрытых каналов передачи данных элементы компьютера (вентиляторы, блок питания, HDD, CD привод и др.), воздействуя на них на программном уровне;
- использовать излучение монитора в качестве приемника информации и другие способы.

Наличие скрытых каналов утечек информации позволяет осуществлять несанкционированный доступ (НСД) злоумышленнику и компрометировать сведения, обрабатываемые на ПЭВМ.

Таким образом, в работе планируется провести детальный анализ скрытых каналов передачи данных по материалам отечественной и зарубежной литературы с целью их классификации, прогнозирования и определения основных мер противодействия утечкам информации [1].

Планируемым результатом исследования являются рекомендации по предотвращению угроз, которые основаны на новых методах, применяемых при создании скрытых каналов передачи данных за счет внедренного вредоносного ПО.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 52447-2005 Защита информации. Техника защиты информации // М.: Издательство стандартов. — 2013.

*Р. Шарафутдинов, студ.;*  
*рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ СЦЕНАРИЕВ ПО РАССЛЕДОВАНИЮ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Интенсивный рост количества инцидентов информационной безопасности и серьезности их последствий привел к осознанию руководством компаний масштаба проблемы защиты информации. Организации сталкиваются с проблемой нерационального использования имеющихся средств защиты информации, невозможностью оперативно и полноценно управлять инцидентами ИБ. Решением данной задачи является разработка сценариев реагирования на инциденты ИБ. Сценарий реагирования — это список необходимых шагов и действий, которые следует выполнить для успешного отклика на конкретные угрозы и разновидности инцидентов. Эти сценарии могут быть реализованы как на определенном языке программирования, так и с помощью предметно-ориентированных языков.

Однако, в настоящее время, часто встречаются сценарии реагирования, в которых описание этапов носит информационный характер и не подразумевает каких-либо конкретных действий, а автоматизация процесса реагирования либо не используется вообще, либо находится на низком уровне.

Таким образом, целью работы является разработка типовых сценариев реагирования на инциденты ИБ, с возможностью их использования в системах типа SOAR (Security Orchestration, Automation and Response).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать перечень необходимых действий при реагировании на инциденты ИБ.
2. Определить критерии реагирования на инциденты ИБ.
3. Разработать типовые сценарии реагирования на инциденты ИБ на основе опыта расследования инцидентов в организации.

Данные сценарии помогают установить формализованные процессы и процедуры обработки инцидентов в рамках расследований и позволяют обеспечить систематическое выполнение необходимых действий по реагированию на инциденты [1].

### **Литература**

1. **Калинин А.** Сквозная реализация плейбуков при взаимодействии с аутсорсинговым SOC. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anti-malware.ru/practice/methods/end-to-end-implementation-of-playbooks-collaboration-with-outsourced-soc>

*А.А. Гаврилов, Н.С. Козлова, А.А. Мазуркевич,  
Д.М. Кастро Эспиноса, А.Р. Замилов, студенты;  
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ НОВОГО РАЗДЕЛА БАНКА ДАННЫХ УГРОЗ ИНФОРМАЦИИ ФСТЭК**

Данная работа посвящена анализу раздела, предназначенного для автоматизации процесса формирования перечня возможных угроз безопасности информации (УБИ), разработанного Федеральной службой по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России, с целью формирования предложений по улучшению этой системы.

Формирование модели угроз в новом разделе происходит по следующим этапам: определение негативных последствий, выбор угроз (есть вариант по умолчанию), определение объектов воздействия угроз, определение компонентов (программного обеспечения и другие объекты), определение нарушителей (источников угроз) и формирование результата (модель угроз и меры защиты в соответствии с принятой классификацией). По итогам анализа этих этапов были предложены следующие улучшения:

1. Конкретизировать формулировки негативных последствий, избегая размытых определений («нарушение иных прав и свобод гражданина», «нарушение законодательства РФ», «угроза жизни или здоровья» и др.).
2. Объединить повторяющиеся по смыслу негативные последствия, либо уточнить их содержание (например, 36 и 52).
3. Изменить формулировку «устройство интернета вещей» на «устройство киберфизических систем».
4. Объединить компоненты объектов воздействия, у которых пересекаются или совпадают множества угроз. Например, «загрузчик операционной системы» и «UEFI/BIOS», так как первый является подмножеством второго.
5. Введение в модель нарушителей показателя мотивации его действий позволит, на наш взгляд, повысить объективность моделирования угроз информационной безопасности.
6. В модель угроз необходимо обязательно ввести показатели уязвимости информационной системы. Это позволит уточнить модель угроз на основе учета корреляций между объектами воздействия, уязвимостями и умышленными угрозами.

Представленные предложения направлены на улучшение и развитие разработанного ФСТЭК России механизма формирования перечня возможных УБИ.

### **Литература**

1. Банк данных угроз ФСТЭК [Электронный ресурс]. — URL: <https://bdu.fstec.ru/threat-section/shaper-threats> (дата обращения: 09.11.22).



*И.С. Баскаков, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ШТАТНОЙ СТРУКТУРЫ СЛУЖБЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Развитие информационной инфраструктуры организации ставит задачи планирования обоснованных и эффективных организационно-штатных структур и, в том числе, службы информационной безопасности. От соответствия организационно-штатных структур организации решаемым задачам во многом зависит и эффективность всей системы управления [1].

Актуальность данной темы обусловлена тем, что существующие на данный момент технологии такого планирования зачастую основаны на интуитивных, эмпирических субъективных методах, а также не учитывают вопросы взаимодействия с другими структурами, приоритетность выполняемых задач и их делегирования, масштабы организации и динамику их изменения при различных ситуациях. Это может привести к увеличению рисков и необъективным оценкам социально-экономических последствий организационных решений [2].

Целью работы является разработка методики проектирования организационно-штатной структуры службы информационной безопасности с учетом решаемых ею задач, их масштабов и приоритетов в условиях ограничений на все виды материально-технического и финансового обеспечения.

Для достижения поставленной цели будут решены следующие задачи:

1. Анализ существующих методов и технологий проектирования организационно-штатных структур служб информационной безопасности.
2. Моделирование типовых организационно-штатных структур службы ИБ при различных условиях и ситуациях.
3. Разработка методики обоснования организационно-штатной структуры службы ИБ с учетом решаемых ей задач, их масштабов и приоритетов.

В результате выполнения работы будут выявлены недостатки существующих методов проектирования организационно-штатных структур информационной безопасности, предложены варианты их исключения и усовершенствования с учетом всех ограничений, оптимального количества персонала, взаимодействия с другими структурами, выполняемых задач и целей организации.

### **Литература**

1. **Аверченко В.И., Рытов М.Ю.** Служба защиты информации: организация и управление: Учебное пособие, М: Флинта, 2011. — 210 с.
2. **Килячков А.А., Чалдаева Л.А.** Планирование организационного построения компаний (АМСЦ-метод) // Финансы и кредит 2000. № 3. С. 16–21.

*В.М. Шеверга, студ.;*  
*рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ ДОВЕРИЯ К СИСТЕМАМ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ**

Целью проекта является разработка технологии, позволяющей учесть интересы всех заинтересованных сторон и полностью исключить любые нарушения в системе электронного голосования.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. **Обеспечение подотчетности.** При эксплуатации системы необходимо иметь возможность получения немедленного отчета, отражающего состояние всех компонентов системы, но не раскрывающей сути голосования по запросу наблюдательной комиссии;
2. **Подконтрольность.** Система должна быть подконтрольна только наблюдательной комиссии. При этом единоличный контроль над системой или ее элементами не допускается;
3. **Закрытость.** Данная система после ввода в эксплуатацию не должна быть подвержена никакому вмешательству. При любом вмешательстве в систему должен быть предусмотрен алгоритм оповещения, который будет посылать данные о попытке вмешательства в систему;
4. **Защищенность.** Для защиты необходимы организационно-правовые режимные, инженерно-технические и аппаратно-программные методы защиты информации, отвечающие установленным требованиям. Например, системы шифрования гарантированной стойкости;
5. **Анонимность.** Система должна предусматривать обеспечение полной и безоговорочной анонимности пользователей, проголосовавших с ее участием;
6. **Целостность.** Контроль целостности всех элементов системы должен осуществляться с начала работы и до ее окончания, нарушение такого контроля должно повлечь за собой оповещение, которое будет посылать данные о нарушении;
7. **Управляемость.** Система должна быть легко управляемой, иметь интуитивно понятный и однозначно трактуемый пользовательский интерфейс.

### **Литература**

1. Технологии электронного голосования в России, 2019 / Ерохина О.В.
2. К вопросу о совершенствовании процедур электронного голосования 2013 / Эмиров М.Б., Магдилова Л.В., Магдилов М.М.

*А.В. Завилов, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЗАЩИТЫ И ЗАДАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА**

Увеличение сложности современных технических средств, используемых в информационных системах, вызвало необходимость создания системы требований доверия к ним со стороны, как производителей, так и потребителей этих устройств.

Существующий на данный момент нормативный документ по методам и средствам обеспечения безопасности ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 определяет создание упомянутой системы требований доверия с помощью профиля защиты, как общего подхода, и задания по безопасности, как частного подхода [1].

Целью работы является разработка методики обучения проектирования профиля защиты и задания по безопасности на основе одного из технических средств защиты информации.

В результате работы будет разработан обучающий кейс, который позволит поэтапно создать систему защиты и документации по анализу, архитектуре и определению уровня доверия технических средств.

Кейс будет включать в себя следующее: описание технического средства; определение среды безопасности, цели безопасности и требования безопасности для профиля защиты и задания по безопасности; обоснование системы безопасности; предложение методик устранения возможных угроз безопасности. Результаты должны быть легко проверяемыми, также необходимо определить трудоемкость кейса. Кейс должен включать в себя практические и самостоятельные работы.

Данный кейс может применяться в образовательном процессе, профессиональной переподготовке, в центрах сертификации по оценке уровня подготовки специалистов разработки профиля защиты и задания по безопасности.

Использование кейс-метода позволяет увидеть неоднозначность решения проблем обеспечения безопасности технических средств по методам и средствам защиты ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 в сфере информационной безопасности. С помощью обучающего кейса появится возможность выявить конкретные компетенции проектирования профиля защиты и задания по безопасности для технического средства, обучить данным компетенциям или проверить степень владения ими.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013** — Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности.

А.С. Федулова, соиск.; рук. Я.А. Федулов, к.т.н., доцент  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## АДМИНИСТРИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ГИБРИДНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Для решения научно-практических задач на гибридном вычислительном кластере (ГВК) предлагается решение проблемы добавления новых и администрирования существующих пользователей ГВК. Требуется организация работы пользователей на ГВК с обеспечением достаточного уровня информационной безопасности и минимизацией возможных информационных угроз. Типовым методом решения указанной проблемы является применение одной или нескольких групповых политик безопасности, применяемых на ГВК. Выделяют дискреционную, мандатную и ролевую политики безопасности, с соответствующими правами и ограничениями для пользователей ГВК [1].



Рис. 1. Схема электрическая функциональная

Соединение с внешней сетью настраивается через роутер с фильтрацией по открытым портам. Серверная часть службы ssh, установленная на ГВК устанавливает по выделенному каналу соединение с клиентом, осуществляя удаленное подключение, обеспечивающее защищенную устойчивую работу на кластере.

В данной работе предлагается смешанная групповая политика безопасности, представленная на рисунке 1.

Предлагаемая политика основана на применении защищенного сетевого протокола ssh с возможностью туннелирования соединений. Для каждого пользователя создается пара из открытого и закрытого ключа, дополнительно защищенные паролем. Внутренняя сеть кластера отдельно обрабатывает протоколы MPI и NFS.

### Литература

1. Benmenzer F., Beghdad R. An adaptive formal parallel technique with reputation integration for the enforcement of security policy in the cloud environment // Computer Communications. Vol. 196. 2022. P. 207–228.

*Д.А. Тихонов, студ.; рук. М.Н. Власенко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Одной из основных современных требований цифровой экономики — это обоснование отношения затрат на создание и эксплуатацию защищенных информационных систем к уровню их защищенности, основываясь на моделях рисков. Современные системы защиты информации подвергаются постоянным и новым угрозам. Поэтому научной задачей является анализ процесса функционирования системы защиты информации методом оценки экономической эффективности посредством составления математической модели.

На данный момент одним из самых распространенных подходов при разработке методик оценки экономической эффективности является инновационный подход. Но в случае с защитой информации, без которой не может функционировать ни одна современная организация, инновационный подход теряет свою актуальность. Система защиты информации является элементом бизнеса, который постоянно требует вложений. Инновация подразумевается только при возникновении абсолютно новой угрозы, а это другой научный вопрос.

Целью данной работы является разработка математической модели экономической эффективности защиты информации, а также разработки новых методик оценки экономической эффективности и разработки новых идей в области обеспечения информационной безопасности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих наиболее востребованных методов оценки экономической эффективности защиты информации;
2. Найти и выделить технологии, которые позволяют работать в условиях неточной информации и нечетких данных;

Планируемым результатом работы является разработка прототипа системы, которая позволяла бы доказать работоспособность и актуальность предоставленных математических моделей, а также разработка метода достижения максимальной защиты информации в условиях ограниченности ресурсов.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2013.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.

**Секция 20**  
**ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА**  
**Applied and business Informatics**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Крепков Игорь Михайлович*

*Секретарь секции: Баланев Кирилл Сергеевич*

*Е.М. Павлов, А.В. Рыжов, студенты;  
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ**

В современной системе образования оценка знаний учащихся проводится с помощью ряда средств, подразумевающих взаимодействие с преподавателем и/или учебными материалами.

В качестве таких средств оценки знаний часто выступает тестирование. При использовании традиционных вариантов тестирования, преподаватель составляет тесты вручную и предоставляет их тиражированные экземпляры учащимся. Однако, в связи с нынешней ситуацией в мире, тестирование всё чаще проводится в дистанционном формате с использованием различных систем дистанционного обучения. Одной из таких систем является СДО «Прометей» [1].

Благодаря использованию данной системы преподавателю нужно лишь загрузить исходные данные в определенном формате, а сами тесты сформируются автоматически. Затем учащиеся решают уже готовые тесты с использованием веб-интерфейса.

Тем не менее, преподавателю всё также приходится заниматься формированием исходных данных, что может занять большое количество времени. Автоматизация процесса составления тестовых заданий позволяет сократить временные затраты и снизить вероятность возникновения ошибок.

Для решения данной задачи была разработана система генерации тестовых заданий. В качестве тематики заданий была выбрана оценка надёжности программного обеспечения. При использовании данной системы пользователю необходимо выбрать нужную ему модель. Генерация исходных данных по модели, как и их сохранение в файл, происходит автоматически. Пользователю лишь нужно принять решение об их пригодности для тестирования [2].

### **Литература**

1. Официальный сайт НИУ «МЭИ» [Электронный ресурс]. URL: <https://mpei.ru/online/employees/Pages/skz.aspx> (дата обращения: 21.11.2022)
2. **Павлов, Е.М.** Автоматическое составление тестовых заданий для контроля знаний по методам оценки надёжности программного обеспечения / Е.М. Павлов, А.В. Рыжов, С.А. Петров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. — 2022. — № 3. — С. 179–184. — DOI 10.18137/RNU.V9187.22.03.P.179.

*Е.М. Павлов, А.В. Рыжов, студенты;  
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ**

Для оценки знаний учащихся была разработана система генерации тестовых заданий. Тип заданий, использующийся в системе, предполагает определение зависимости надежности программного обеспечения от ранее известных, или измеряемых параметров [1]. Так как прежде составление заданий и исходных данных производилось вручную, величина затрачиваемого времени значительно изменилась.

Предприняв некоторое количество попыток составления тестовых заданий, удалось определить среднее время выполнения процесса ручного составления тестового задания. Таким образом, на создание исходных данных и проведение расчётов уходит в среднем 3 минуты. На оформление исходных данных в виде таблицы, как и на создание текстового файла для загрузки в СДО «Прометей» затрачивается в среднем по 1 минуте. Было установлено, что общие временные затраты на ручное составление заданий составили 5 минут или 180000 миллисекунд.

Для расчёта экономии времени было решено произвести измерение времени работы разработанной системы при использовании наименее и наиболее трудоемких моделей. Для измерения использовались методы класса Stopwatch. При измерении учитывалось время генерации исходных данных, формирования расчётов и создания текстового файла с изображением. На основании измерения было установлено общее время работы программы, равное 12,5 миллисекунд. В результате сравнения, было определено, что при подготовке заданий для группы из 30 студентов будет сэкономлен 1 академический час [2].

### **Литература**

1. **Наумов А.А., Айдинян А.Р.** Надежность программного обеспечения и методы ее повышения // Инженерный вестник Дона. Серия: Экономика. Экономические науки. 2018. № 49. С. 98.
2. **Павлов, Е.М.** Автоматическое составление тестовых заданий для контроля знаний по методам оценки надежности программного обеспечения / Е.М. Павлов, А.В. Рыжов, С.А. Петров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. — 2022. — № 3. — С. 179–184. — DOI 10.18137/RNU.V9187.22.03.P.179.



*К.С. Баланев, Д.А. Смирнов, студенты;  
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ БИЛЬЯРДНОГО КЛУБА**

По признанию Министерства спорта Российской Федерации и Олимпийского Комитета России бильярдный спорт в России является одним из ведущих среди не олимпийских видов спорта [1]. Ежегодно в России организуются более 40 спортивных мероприятий всероссийского и международного уровня. Организация, подготовка и проведение соревнований осуществляется в бильярдных клубах, именно поэтому для них так важно иметь систему, автоматизирующую основные бизнес-процессы.

Такая система повысит скорость и удобство бронирования бильярдных столов, заказ продукции из ресторана клуба и предоставит удобный способ хранения, отслеживания, изменения, а также удаления различной информации, необходимой для правильной работы клуба, что позволит снять часть нагрузки с менеджеров и оптимизировать работу самого клуба.

В докладе приведены подобные системы автоматизации: «R-Keeper», «Софт-Биллинг», «Safe Manager». Рассмотрены принципы их работы, достоинства и недостатки. Данные системы нацелены на автоматизацию бронирования и обслуживания бильярдных столов, однако они имеют ряд недостатков: подразумевается, что системы будут использованы только сотрудниками бильярдных клубов; данные системы требуют наличия дополнительного оборудования в клубе; отсутствует возможность распределения участников соревнований по турнирным сеткам.

Проектирование и реализация автоматизированной системы для бильярдного клуба приведёт к потенциальному увеличению прибыли клуба, обеспечит возможность регулярного проведения спортивных и физкультурных мероприятий по бильярдному спорту и увеличит количество людей, занимающихся бильярдным спортом.

### **Литература**

1. Приказ Министерства спорта РФ от 1 июня 2021 г. N 374 «Об утверждении программы развития вида спорта «Бильярдный спорт» в Российской Федерации».

*Д.А. Смирнов, К.С. Баланев, студенты;  
рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА КОРПОРАТИВНОГО ОНЛАЙН ОБРАЗОВАНИЯ**

Концепция корпоративного обучения является одной из самых важных подсистем непрерывного образования работников корпораций, которая неразрывно связана с изменениями в корпорациях, производствах и технологиях в целом. Обусловлено это рассогласованием рынка труда и рынка образовательных услуг.

Создание корпоративной системы обучения позволит увеличить потенциала гибкости, изменчивости, адаптивности сотрудников корпораций [1].

Эффективная корпоративная система обучения персоналом увеличивает способность сотрудников подстраиваться к быстро меняющимся условиям и требованиям рынка, а значит, помогает компании решать задачи бизнеса и снижает текучку кадров.

В докладе приведены подобные системы автоматизации: «Skills Taxonomy», «Voice of the Employee», «LXR». Рассмотрены принципы их работы, достоинства и недостатки. Эти инструменты представляют собой не столько системы для обучения, сколько для управления персоналом в целом.

Реализация программ корпоративного обучения сотрудников и персонала позволяет поддерживать уровень компетенций работников, необходимый для обеспечения конкурентоспособности образовательной организации на рынке товаров и услуг, и обучать с опережением, ориентируясь на изменения во внешней среде.

### **Литература**

1. **Каганов, В.Ш.** Корпоративное обучение в системе профильных интересов субъектов российского предпринимательства / В.Ш. Каганов. — М.: Синергия, 2020. — 734 с.

*А.В. Рыжов, Е.М. Павлов, студенты;  
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Под современной информационной системой принято понимать любой объект, который одновременно рассматривается и как единое целое, и как достижения поставленных целей совокупность разнородных элементов. Это взаимосвязанная совокупность средств и методов, используемых для выдачи информации в интересах достижения поставленной цели.

Правильный подход к анализу и выбору средств разработки — важная задача по созданию информационной системы. Необходимые в каждом конкретном случае средства определяются в зависимости от совокупности факторов, таких как цель и задачи проектирования, особенности и параметры предметной области и применяемой исполнителем методологии.

Практически во всех информационных системах помимо использования программного кода также задействуются базы данных. Также, для удобства пользователей отдельно разрабатывается пользовательский интерфейс. В качестве информационной системы будет рассматриваться разрабатываемая система мониторинга порталов образовательных организаций.

В докладе рассматриваются основные понятия технологий для разработки информационных систем. Выделяются существующие среды, языки, платформы для разработки, системы управления базами данных, а также дополнительные вспомогательные средства. Проводится сравнительный анализ на основе нескольких критериев по каждой группе технологий.

Проведенный сравнительный анализ технологий поможет выбрать оптимальное решение для дальнейшего проектирования и разработки внутренней системы мониторинга для ВУЗа, что в свою очередь обеспечит наиболее правильный подход и составление этапов для создания информационной системы.

### **Литература**

1. **Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н.** Основы проектирования информационных систем. Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2015. — 206 с.

*А.В. Рыжов, Е.М. Павлов, студенты;  
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОРТАЛОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Следующей стадией после определения средств реализации является проектирование и разработка самой системы. Под этим подразумевается совокупность процессов, переводящих требования непосредственно в систему или продукт [1].

Процесс проектирования начинается непосредственно с разработки логической и физической схемы базы данных. В самой базе должны храниться все необходимые атрибуты для проверки html-разметки страницы, а также сами результаты проверок.

Разработка пользовательского интерфейса являются одним из важных этапов при разработке системы. Главной задачей является сделать максимально понятным, простым и интуитивным для пользователя. Основными разделами в системе будут главная страница, отчет по результатам проверки и меню для проведения основных операций с базой данных.

Заключительным этапом будет реализация логики работы системы. При проектировании приложения будет применен паттерн MVC [2]. Главными методами будут метод HTTP-запроса к страницам сайта, получение и обработка ответа, метод проверки на соответствие всем требованиям Министерства Образования, применимым к сайтам образовательных организаций и методы взаимодействия с базой данных.

В докладе рассматриваются основные результаты разработки системы мониторинга порталов образовательных организаций. Демонстрируется графический интерфейс системы и результаты проверки сайта.

Разработанная система позволит ВУЗу лучше адаптироваться под требования Министерства Образования и быстрее исправлять существующие недочеты, связанные с отсутствием информации на сайте образовательной организации.

### **Литература**

1. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь: ГОСТ Р ISO 9000-2008. — [Введен в действие от 2008-12-18]. — М.: Стандартинформ Российской Федерации, 2008. — 70 с. — (Национальный стандарт Российской Федерации).
2. Полное руководство по ASP.NET MVC: [Электронный ресурс]. URL: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/> (дата обращения: 25.11.2022)

**Направление IV**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА  
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

**Electrical engineering,  
electromechanics,  
and electric technologies**

---

**Руководитель направления:**

Директор института электротехники  
и электрофикации, к.т.н., доцент  
Погребисский Михаил Яковлевич

**Секция 21**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ**  
**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ**  
**Electromechanical energy converters**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Ширинский Сергей Владимирович*

*Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Антон Олегович*

*А.В. Москаленко студ.; рук. С.В. Журавлев, к.т.н. (НИУ «МАИ»)*

## **ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Управление электромеханическими преобразователями электроэнергии может осуществляться скалярно и векторно. Первый способ заключается в поддержании на постоянном уровне соотношения  $U/f$  и характеризуется простотой использования и небольшим диапазоном регулирования скорости 1:10. Векторное управление обладает более высокой производительностью. Основной принцип — управление магнитным потоком ротора, т.е. положением вектора магнитного потока в пространстве, и, как следствие, регулирование электромагнитного момента двигателя; формирование гармонических токов фаз. Такому способу присущи высокая точность регулирования скорости, увеличенный диапазон управления — 1:200, повышение коэффициента полезного действия (КПД) электродвигателя.

Векторное управление реализуется линейными и нелинейными регуляторами момента. К группе первых относят полеориентированное управление, принцип которого основан на контроле момента и поля путем оперирования составляющими вектора тока статора, и прямое управление моментом с пространственной векторной модуляцией, суть которого в подборе и расчете положений векторов напряжений в пространстве и длительности их пребывания в зависимости от требуемого значения производной угла нагрузки, полученного на выходе регулятора момента. В методах нелинейного регулирования раздельное управление заменяется на непрерывное (гистерезисное), т.е. выбирается вектор напряжения для одновременного управления и моментом и потокосцеплением статора.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) может использоваться как исполнительный механизм в системе привода воздушного винта летательного аппарата, обладая более высоким КПД, улучшенными массогабаритными показателями, увеличенным диапазоном регулирования частоты вращения по сравнению с асинхронным электродвигателем.

Задача данной работы — создание системы управления СДПМ, построенной на основе векторного регулирования как наиболее перспективном современном методе управления электроприводом, обеспечивающим лучшие рабочие характеристики двигателя, по сравнению с другими методами.

Реализация поставленной задачи осуществлена в среде Matlab-Simulink. Проведено моделирование работы электродвигателя вкуче с системой его управления.

*Д.Р. Городнов, студ.;*  
*рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИГНАТУРНЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Отрасли промышленности всегда заинтересованы в повышении надежности своего производственного процесса. В этом контексте профилактическое техническое обслуживание играет фундаментальную роль для достижения высокой эксплуатационной готовности и надежности оборудования.

Сигнатурный анализ электрических сигналов (ESA) — это общий термин для набора методов контроля состояния электрических машин посредством анализа электрических сигналов, таких как ток и напряжение. Этими методами являются: сигнатурный анализ тока (CSA), сигнатурный анализ напряжения (VSA), расширенный анализ вектора Парка (EPVA), сигнатурный анализ мгновенной мощности (IPSA) и другие.

Ожидаемые результаты промышленного применения методов ESA заключаются в следующем: сокращение времени простоя, повышение эксплуатационной готовности оборудования, снижение затрат на техническое обслуживание и т.д.

Неотъемлемыми преимуществами ESA являются: возможность установки датчиков в центре управления двигателями (ЦУД); отсутствие взрывоопасных смесей; возможность дистанционного мониторинга; применение к любому электрическому двигателю без ограничения мощности; высокая чувствительность для обнаружения механических неисправностей в двигателе и нагрузке, электрических неисправностей в статоре, проблем в электросети и т.д.

В работе представлены результаты мониторинга электрической машины (асинхронного двигателя) методом ESA.

В настоящее время отрасли нуждаются в продуктах для прогнозируемого технического обслуживания. Сигнатурный анализ электрических сигналов (ESA) в условиях растущего спроса на технологии прогнозирования привлекает все больше внимания отраслей промышленности.

### **Литература**

1. **Bonaldi E.L. et al.** Predictive Maintenance by Electrical Signature Analysis to Induction Motors. [Электронный ресурс]: IntechOpen. 2012. Chapter 20. URL: <https://www.intechopen.com/> (дата обращения: 19.09.2022).
2. **Yongyi Ran et al.** A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. IEEE. Communications surveys & tutorials. № 20. 2019.



*А.М. Беспалов, студ.;  
рук. С.А. Коробков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ЗА СЧЁТ КОМБИНАЦИИ МАТЕРИАЛА ОБМОТОК**

Повышение энергоэффективности систем, обеспечивающих выработку, передачу и распределение электрической энергии, остается ключевой проблемой в XXI веке. Одним из важнейших аспектов в этой проблеме является необходимость радикального уменьшения потерь электрической энергии в силовых трансформаторах. Это обусловлено прежде всего тем, что суммарная установленная мощность трансформаторного парка обычно в 7–9 раз больше установленной мощности источников электрической энергии на снабжающих их электрических станциях.

Свойства проводникового материала обмоток оказывают существенное влияние на технико-экономические параметры силовых трансформаторов: геометрическую соразмерность (соотношение геометрических размеров обмоток и магнитной системы), расход активных материалов, уровень основных и добавочных потерь, нагрузочную способность, динамическую устойчивость и другие показатели.

Выбор типа материала обмоточного провода при проектировании конкретного типа трансформатора выполняется на основе анализа технических требований к трансформатору с учетом экономических условий и технологических возможностей производителя. В современном трансформаторостроении получили применение обмоточные провода двух видов электротехнических материалов — меди и алюминия, а для наиболее энергоэффективных трансформаторов используются провода с высокотемпературной сверхпроводимостью (ВТСП).

Ожидаемые результаты создания алюминиево-медных распределительных трансформаторов заключаются в следующем: уменьшение массы стали и потерь в ней, снижение суммарных потерь и капитализированных затрат, увеличение ресурсоэффективности.

Таким образом, введение в эксплуатацию ВТСП трансформаторов и их комбинированной конструкции является одним из наиболее перспективных путей снижения потерь энергосистем.

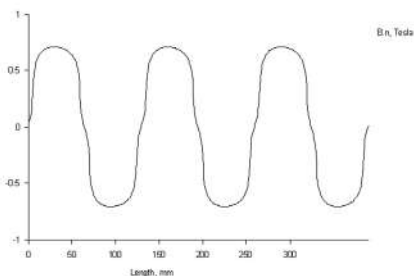
### **Литература**

1. **Мельникова Е.В.** Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных трансформаторов // Энергосбережение. 2003. № 6.
2. **Пуйло Г.В.** Современные тенденции совершенствования силовых трансформаторов // Электротехніка та електромеханіка. 2008. № 2.

*К.В. Кузин, асп.; консультант А.О. Сидоров, к.т.н., ст. преп.;  
рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПАЗОВЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Особенностью беспазовых синхронных машин с постоянными магнитами является отсутствие зубцово-пазовой зоны. Такая конструкция позволяет добиться повышения энергетических показателей, а также улучшения различных характеристик машин, в том числе массогабаритных показателей [1].



**Рис. 1.** Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре беспазового синхронного генератора с постоянными магнитами

Беспазовые синхронные машины с постоянными магнитами в настоящее время находят применение в различных отраслях промышленности. Например, такой тип машин используют в маломощных ветроэнергетических установках (от 5 до 100 кВт). При сравнении беспазовой и пазовой конструкций синхронных генераторов с постоянными магнитами в условиях непостоянной скорости ветра было выяснено, что при одинаковых габаритных размерах форма выходного напряжения беспазовой конструкции значительно ближе по форме к синусоиде, что является несомненным плюсом (рис. 1.). А так как современная ветроэнергетика является самой интенсивно развивающейся отраслью мирового хозяйства, беспазовые синхронные машины с постоянными магнитами привлекают внимание электротехнической промышленности [2].

Целью данной работы является снижение уровней зубцовых гармоник магнитного поля синхронных машин с постоянными магнитами, которые вызывают добавочные потери и являются источником повышенного шума и вибрации.

Для решения поставленных задач с достаточной степенью точности в работе проведено моделирование в программе FEMM.

### Литература

1. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **SALISTEANU C., UDROIU I., NEDELICU O., ENESCU D.** Slotless permanent magnet synchronous generator (S-PMSG) for low power wind applications, electronics, telecommunications and energetic department. VALAHIA University of Targoviste, CAROL I, no.2, Targoviste, ROMANIA, 2014.

А.А. Ооржак, асп.;  
рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛЬ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПМ И ПУСКОВОЙ ОБМОТКОЙ

В связи с ростом цен выработки электроэнергии, эксплуатации и обслуживания электрооборудования, связанных с ужесточением требований МЭК в области энергетике, возникает потребность в постоянной актуализации научной составляющей в применении энергоэффективных двигателей в промышленности. Целью работы является разработка модели синхронного двигателя с постоянными магнитами и КЗ обмоткой для прямого пуска (СДПМПП) для последующей оптимизации двигателя.

За основу при моделировании взята Метод зубцовых контуров (МЗК), который сочетает точность полевых и быстродействие цепных методов расчета. Он предусматривает анализ специальной эквивалентной схемы замещения магнитной цепи СДПМПП [1]. В настоящей работе рассматривается модель СДПМПП с тангенциально намагниченными ПМ в роторе, расположенными между пусковой обмоткой и немагнитной втулкой. Такая конфигурация ПМ и пусковой обмотки с круглыми стержнями показала свою перспективность в работе [2]. Разработанная эквивалентная схема замещения магнитной цепи СДПМПП представлена на рис. 1. Каждый участок магнитопровода представлен ветвью с нелинейной проводимостью для учета насыщения стали. Магнитный поток двигателя создается источниками МДС магнитов и токов обмоток. Для проверки адекватности схемы замещения проводится сравнение результатов расчета основных режимов работы двигателя с аналогичными результатами полевого расчета.

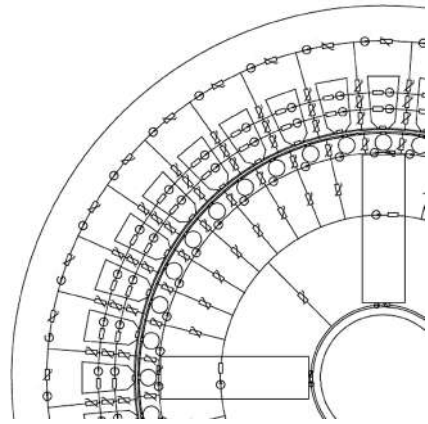


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения магнитной цепи СДПМПП с четырьмя ПМ

### Литература

1. Ширинский С.В. Методы анализа электрических машин. М.: Издательство МЭИ, 2017.
2. Elistratova V. Optimal design of line-start permanent synchronous motor of high efficiency. [текст]: Ph.D. dissertation, l'École Centrale de Lille, 2016.

М.С. Венцеров, студ. ;  
 рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ В ОБМОТКЕ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА С РАЗЛИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТРАНСПОЗИЦИИ

Одними из важнейших элементов энергосистемы являются турбогенераторы, эксплуатируемые на тепловых и атомных электростанциях. Мощность одного агрегата на сегодняшний день может достигать 1200 МВт. Несмотря на высокий КПД (98–99%), потеря даже 1% мощности приводит к значительным тепловым нагрузкам, что обуславливает необходимость использования специальных систем охлаждения. Принято различать два способа охлаждения активных частей — прямой (непосредственный) и косвенный. В случае косвенного охлаждения весь тепловой поток проходит через изоляцию в сердечник, что приводит к ее старению в течение всего срока эксплуатации. Превышение температуры обмотки на несколько градусов (например, в результате перегрузки или ошибок при проектировании) может привести к снижению срока службы изоляции в 2 и более раза. Добавим к сказанному, что обмотка статора является одним из наименее надежных и наиболее важных узлов синхронной электрической машины в целом. Таким образом, проблема тепловыделения в обмотке статора при косвенном охлаждении встает более остро.

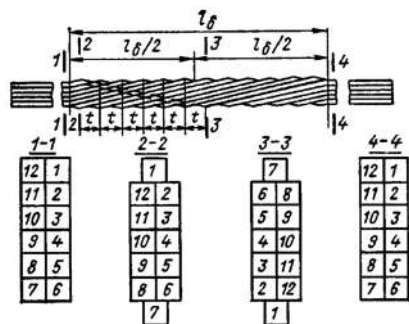


Рис. 1. Стержень с транспозицией на 360°. Шаг транспозиции отмечен символом «t»

турбогенераторов, а также исследовать зависимость потерь от шага транспозиции. Исследование выполняется при помощи численного моделирования электромагнитных полей с различной степенью допущений.

Помимо оптимизации системы охлаждения рационально сокращать сами потери. Эффективным способом уменьшения потерь в обмотке статора является ее транспозиция, т.е. переплетение элементарных проводников каждого стержня между собой (рис.1). При такой конфигурации происходит выравнивание индуцированных ЭДС различных элементарных проводников, что снижает величину паразитных циркуляционных токов и сопутствующих потерь.

Цель данной работы — выявить наличие нескомпенсированных циркуляционных токов в плетеных стержнях

*В.И. Королев, асп.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ ПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА ДАТЧИКА ВИБРАЦИИ**

В промышленности любые сбои и незапланированные простои машин или систем могут ухудшить или прервать основную деятельность компании, что потенциально может привести к значительным штрафам и неизмеримой потере репутации. Отрицательными сторонами существующих традиционных подходов к обслуживанию (обслуживание по отказу или регламенту) являются высокие затраты на предотвращение или ремонт, неадекватные или неточные математические процессы деградации.

В связи с тенденцией интеллектуального производства, интеллектуального анализа данных, искусственного интеллекта, предиктивный технический контроль предлагается в качестве нового типа парадигмы обслуживания только после того, как аналитические модели предсказывают определенные сбои или деградации.

В работе проводится общий обзор целей и задач технического обслуживания, которые в основном включают минимизацию затрат, максимизацию доступности/надежности и многокритериальную оптимизацию. Кроме того, предлагается метод оценки состояния подшипников вращающихся электрических машин с помощью анализа сигнала вибраций. Производится моделирование отказа подшипника.

### **Литература**

1. **Носов В.В.** Диагностика машин и оборудования, Санкт-Петербург: Лань, 2017, p. 376
2. **Geitner F.K., Bloch H.P.**, Machinery Failure Analysis and Troubleshooting, Butterworth Heinemann, 2012, p. 743
3. **Zeng, Y., & Lou, Z.** The New PCA for Dynamic and Non-Gaussian Processes. 2020 Chinese Automation Congress (CAC). doi:10.1109/cac51589.2020.9327
4. **Cong Z., Yuanan L., Fan W., Wenhao F., Jielong T., Haosong L.**, “Multi-Dimensional Joint Prediction Model for IoT Sensor Data Search”, Access IEEE, VOL. 7, pp. 90863–90873, 2019.
5. **Ozlem Ece Yurek, Derya Birant**, “Remaining Useful Life Estimation for Predictive Maintenance Using Feature Engineering”, Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) 2019 Innovations in, pp. 1–5, 2019.
6. **F. Pacheco, M. Cerrada, R.-V. Sanchez, D. Cabrera, C. Li, J.V. de Oliveira**, Attribute clustering using rough set theory for feature selection in faults Everity classification of rotating machinery, Expert Syst. Appl. 71 (2017) 69–86.
7. **J. Singh, A. Darpe, S. Singh**, Bearing damage assessment using Jensen-Rényi divergence based on {EEMD}, Mech. Syst. Sign. Process. 87 (Part A) (2017) 307–339.

*Р.Ю. Сапожников, студ.;  
рук. С.А. Коробков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ

При питании большинства потребителей электрической энергией требуется регулировать определённые её параметры — напряжение, ток, частоту и пр. Этот процесс изменения по заданному закону или поддержания неизменности (стабилизации) какого-либо параметра может быть проведен как вручную, так и автоматически. Наиболее часто требуется автоматическое регулирование напряжения с целью его стабилизации на заданном уровне при различных возмущающих воздействиях.

Силовые трансформаторы оснащаются различными устройствами регулирования: простейшими, для использования которых необходимо отключение трансформатора от электрической сети, или более сложными, обеспечивающими регулирование под нагрузкой [1, 2]. В настоящее время применяются контактные переключающие устройства, но все более широко для этой цели используются полупроводниковые устройства. Применение таких устройств дает возможность получать безынерционную систему для стабилизации напряжения. Наибольшую актуальность в настоящее время имеют разработки стабилизаторов напряжения с широким диапазоном мощности, которые используются для питания вычислительных и электронных устройств.

В данной работе проведен анализ существующих способов регулирования напряжения на высокой стороне, приведены схемы регуляторов напряжений, основанные как на применении механического переключения числа витков обмоток трансформатора, так и с помощью бесконтактных переключающих устройств (рис. 1).

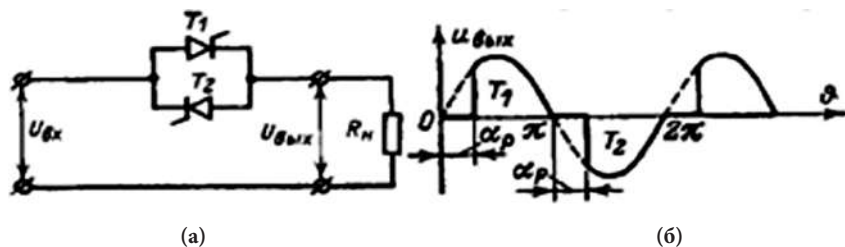


Рис. 1. Стабилизатор напряжения на встречно-параллельно включенных тиристорах: (а) схема; (б) диаграмма выходного напряжения при активной нагрузке

### Литература

1. Баль В.Б., Копылов С.И., Панихин М.В. Расчёт трансформаторов. М.: Изд-во МЭИ, 2016.
2. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Екатеринбург: УрГУПС, 2011.

*А.О. Шаманов, студ.;  
рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

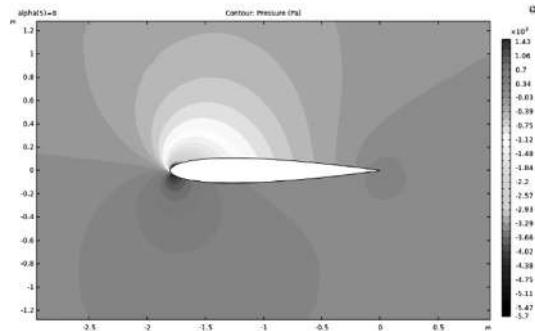
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЯ ЛОПАСТИ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Выбор профиля лопасти ветроколеса является важнейшим этапом при проектировании любого ветрогенератора, так как от него в большей мере зависит общая эффективность ветроустановки.

Разработка профиля лопасти предполагает теоретические и экспериментальные исследования различных профилей лопастей, анализ результатов и выбор наиболее эффективного варианта. Важнейшими аэродинамическими характеристикам профиля лопасти, подлежащими вычислению, являются коэффициент подъемной силы  $C_x$  и коэффициент лобового сопротивления  $C_y$ . Данные характеристики возможно вычислить следующими способами:

- проведение испытаний профиля лопасти в аэродинамической трубе,
- аналитический расчет,
- моделирование с помощью САЕ-программ.

В данной работе был выбран последний способ. Он предполагает моделирование профиля в среде набегающего потока с изменением угла атаки и последующим аналитическим определением коэффициентов  $C_x$  и  $C_y$ . Результатом данного моделирования является наглядное распределение поля давлений вдоль профиля лопасти (рис. 1) и графики зависимостей коэффициентов  $C_x$  и  $C_y$  от угла атаки. Расчет выполнялся в программном комплексе COMSOL Multiphysics.



**Рис. 1.** Распределение поля давления профиля лопасти вертикально-осевой ВЭУ

*В.А. Малышев, студ.;*  
*рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ВЫБОР МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЭУ

Одним из развивающихся направлений в энергетике является ветроэнергетика. Ветроэнергетическая установка обычно представляет собой совокупность ветряного колеса, генератора и полупроводникового преобразователя. В качестве генератора может выступать синхронная машина с постоянными магнитами [1].

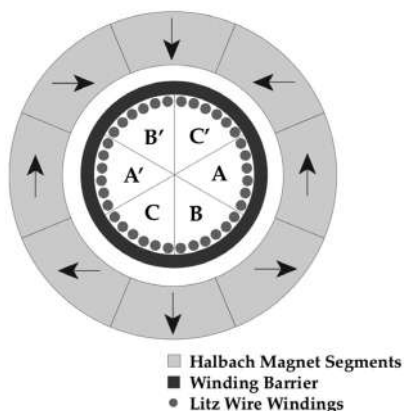


Рис. 1. Пример сборки Хальбаха

Синхронный генератор на постоянных магнитах (СГПМ) имеет простую конструкцию, легок в обслуживании, надежен и имеет высокий КПД. Улучшение характеристик СГПМ возможно за счет применения высококоэрцитивных постоянных магнитов, использование которых повышает себестоимость установки. Другой способ заключается в правильном выборе и оптимизации магнитной системы. Параметры генератора могут меняться в зависимости от направления намагничивания постоянных магнитов (радиальная, тангенциальная, сборка Хальбаха и т.д.). Для получения более точной оценки можно воспользоваться средствами численного моделирования.

В работе проводится моделирование двухмерного поля в поперечном сечении синхронного генератора с постоянными магнитами с целью сравнения их характеристик и определения оптимального варианта.

### Литература

1. Шевченко В.В., Кулиш Я.Р. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазона мощности // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. № 65.



*Н.В. Зайцев, студ.;  
рук. В.А. Кузьмичев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ПРИВОДА МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГОК**

Цель данной работы — проектирование, анализ и исследование работы вентильно-индукторного двигателя (ВИД), применяемого на горно-обогатительных комбинатах (ГОК).

В качестве основных электрических машин в горной промышленности используются асинхронные и синхронные двигатели [1]. Задача данной работы разработать ВИД на замену асинхронным и синхронным двигателям для мельницы мокрого самоизмельчения (ММС) горно-обогатительного комбината.

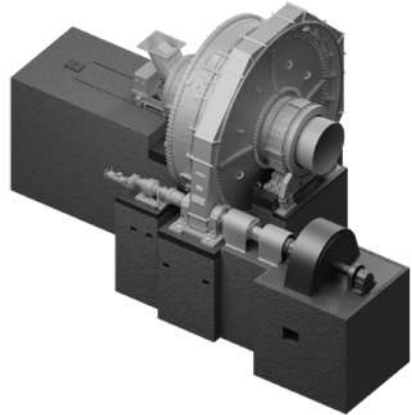
Мельница мокрого самоизмельчения ГОК и привод для ее вращения представлены на рис. 1.

ВИД — управляемый электромеханический преобразователь энергии [2]. Обладает свойствами электрической машины и системы регулируемого электропривода.

ВИД является сложным электро-механическим комплексом, состоящим из системы управления, преобразователя частоты, индукторной машины, датчика положения ротора.

По результатам работы была рассчитана активная часть машины, построена модель в программе конечно-элементного анализа FEMM. С помощью этой программы были сняты и рассчитаны статические характеристики машины и проведен их анализ при разных токах в катушке. На основании расчетов построено семейство кривых намагничивания.

ВИД обладает улучшенными характеристиками в сравнении с подобными ему асинхронными и синхронными двигателями и может заменить их в электроприводе мельниц мокрого измельчения.



**Рис. 1.** ММС и привод для ее работы

### **Литература**

1. Птах Г.К. Опыт создания и внедрения вентильно-индукторных реактивных электроприводов средней и большой мощности в горной промышленности // Известия ВУЗов. Электромеханика, 2019. Т. 62. № 1.
2. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели. М.: Издательство МЭИ, 2011.

*Д.А. Кондрашов, асп.;*  
*рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ГИБРИДНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ**

На начальных этапах проектирования современных электротехнических устройств приходится проводить быструю оценку большого количества различных вариантов проектируемых агрегатов. В связи с этим возникает необходимость в математических моделях, обеспечивающих как высокую точность, так и большую скорость расчета. Переход на более быстрые модели позволяет провести оценку большого количества вариантов в короткие сроки и получить область допустимых решений поставленной задачи, используя определенные алгоритмы оптимизации. Примером таких моделей являются модели, разработанные на основе метода зубцовых контуров.

Метод зубцовых контуров обеспечивает быстрый расчет специальной эквивалентной схемы замещения магнитной цепи при сохранении точности полевого расчета. Уравнения связи между переменными состояния магнитной цепи и переменными состояния электрической цепи облегчают встраивание электромагнитного расчета в процедуры расчета выходных характеристик.

В данной работе рассматривается процесс создания методики поверочного расчета основного каскада электрогенератора для аварийной системы электропитания воздушного судна и получение внешних характеристик для различных режимов работы.

Рассматриваемый образец представляет собой трехмашинное исполнение синхронного генератора, совмещающего в своей конструкции подвозбудитель, возбудитель и основной генератор. Такое исполнение повышает надежность устройства и обеспечивает его бесконтактность.

В работе описывается процесс формирования расчетной модели, способы ее решения, варианты представления полученных результатов по окончании процесса моделирования, а также сопоставление расчетных данных с экспериментальными.

### **Литература**

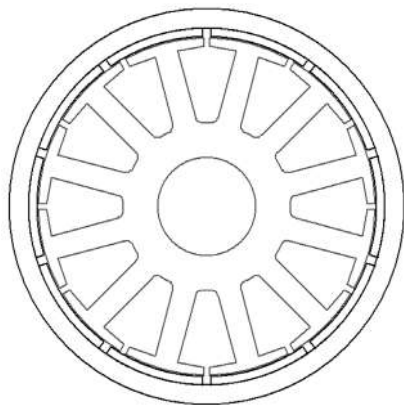
1. **Кузнецов В.А.** Универсальный метод расчета магнитных полей и процессов электрических машин с дискретно распределенными обмотками. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МЭИ, 1990.
2. **Ширинский С.В.** Методы анализа электрических машин: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2017, 256 с.

*М.А. Киселев, асп.;*  
*рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОБРАЩЕННЫЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ**

Для малых транспортных средств и средств индивидуальной мобильности: квадроциклов, снегоходов, мотоциклов, велосипедов, самокатов, монолес, скутеров и др.; эффективно применение электропривода с небольшими тяговыми электродвигателями. Использование в качестве них синхронных электродвигателей с постоянными магнитами (СДПМ) [1] обусловлено высокими значениями КПД — до 98%, удельных показателями по мощности — до 4.8 кВт/кг и моменту [2], что важно для работы от аккумулятора. Для средств индивидуальной мобильности целесообразно применение обращенной конструкции СДПМ с многополюсным внешним ротором с закрепленными на внутренней поверхности сердечника ротора постоянными магнитами и внутренний зубчатый статор с обмоткой якоря [3].

Разработана конструкция двигателя (рис. 1) с десятью полюсами на вращающемся внешнем индукторе и двенадцатью пазами на неподвижном внутреннем якоре. За основу взят двигатель моторедуктора 112.5205010 ООО «НПК» Автоприбор». Обмотка якоря принята трехфазной с зубцовыми катушками, полюсное деление 1,2, шаг по пазам 1, число пазов на полюс и фазу 0,4, обмоточный коэффициент 0,933. Двигатель имеет до 40 % меньшие габариты по сравнению с синхронным двигателем традиционной конструкции с электромагнитным возбуждением.



**Рис. 1.** Конструкция двигателя

### **Литература**

1. **Осин, И.Л.** Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов / И.Л. Осин, Ю.Г. Шакарян. Под ред. И.П. Копылова — М.: Высш. шк., 1990. — 304 с.
2. **Yangyang Li; Shun Feng; Puhui Liu; Jiawei Shen; Da Liu; Yue GU** — A High Efficiency Hybrid Synchronous Motor for Electric Vehicle. 2021 IEEE 12th Energy Conversion Congress & Exposition — Asia (ECCE-Asia).
3. **О.В. Чванов, Ю.Б. Казаков.** Исследование динамических режимов магнитоэлектрического двигателя малого электротранспорта // Матер. 17 Всеросс. (9 междун.) н.-техн. конф. студ., асп. и мол. уч.: «ЭНЕРГИЯ-2022». — Иваново: ИГЭУ, 2022. Т. 4. С. 33.

*А.Ю. Мажонок, студ.;  
рук. В.А. Кузьмичев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ПРИВОДА ГРЕБНОГО ВИНТА ЛЕДОКОЛА**

Цель данной работы — проектирование, анализ и исследование работы вентильно-индукторного двигателя (ВИД), использующегося для привода гребного винта ледокола.

В качестве основных электрических машин гребных винтов ледоколов используются синхронные двигатели [1]. Задача данной работы разработать ВИД на основе прототипа синхронного двигателя, который не будет уступать прототипу по энергетическим показателям.



**Рис. 1.** Вентильно-индукторный двигатель

данной машины в программе FEMM. На основе полученных данных рассчитаны статические характеристики машины и проведен анализ данных графиков при разных токах в катушке. В качестве результатов приведены статические характеристики машины и проведено сравнение аналитического и численного методов расчета.

ВИД гребного винта представлен на рис. 1.

ВИД — интеллектуальный электро-механический преобразователь энергии. [2]. Он объединяет свойства электрической машины и системы регулируемого электропривода.

В состав данного комплекса входит: индукторная машина, преобразователь частоты, система управления, датчик положения ротора. По результатам работы был спроектирован 3-фазный ВИД с индукторной машиной конфигурации 48/32 и рассчитана его активная часть в габаритах прототипа синхронной машины. Также была построена модель

### **Литература**

1. **Птах Г.К.** Гребной вентильный индукторный реактивный двигатель для морского буксира мощностью 2 МВт. Результаты предварительных испытаний // Известия вузов. Электромеханика, 2010. № 5.
2. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели. М.: Издательство МЭИ, 2011.

*В.А. Кадеров, асп.; Н.А. Малевич, студ.;*  
*рук. Н.С. Иванов, к.т.н. (НИУ «МАИ», Москва)*

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ**

Одним из драйверов, обуславливающих развитие транспортных систем, является декарбонизация, т.е. снижение вредных выбросов в атмосферу. В связи с этим актуальным является переход к гибридным и электрическим силовым установкам, в том числе с применением альтернативных видов топлива, одним из которых является водород. При этом наибольшего эффекта от внедрения гибридной силовой установки (ГСУ) можно добиться при использовании жидкого водорода как в качестве топлива, так и в качестве хладагента для электрических машин на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Это становится возможным благодаря высокой удельной мощности ВТСП машин, а также за счет интеграции системы подачи топлива и системы охлаждения ВТСП машин. В соответствии с прогнозами мировых научных центров удельная мощность ВТСП машин должна оказаться выше 20 кВт/кг, чтобы данные системы оказались актуальными.

В работе рассмотрен метод определения удельной мощности полностью ВТСП машины с учетом полевой зависимости сверхпроводниковой ленты с применением конечно-элементного моделирования в среде Ansys Maxwell.

В рамках этой работы рассматривается электрическая машина с ВТСП обмотками на роторе и статоре. В качестве хладагента предполагается использовать водород при температуре 20К. Это позволит обеспечить высокую токонесящую способность ВТСП ленты.

В программе Ansys создана параметрическая модель активной зоны электрической машины, проведен оптимизационный расчет с целью обеспечения наибольшей удельной мощности. В результате достигнут показатель более 20 кВт/кг. Расчет удельной мощности происходил с учетом масс всех составляющих элементов и учетом механических ограничений, таких как максимальная скорость ротора.

Данный метод позволяет выбирать геометрические размеры активной зоны с учетом полевой зависимости сверхпроводниковой ленты, использующейся в обмотке индуктора и якоря. Также с его помощью становится возможным определение минимальных размеров катушек, необходимых для создания МДС, которая обеспечит требуемую мощность, что позволит сократить расход ВТСП ленты.

С.А. Федина, асп.;  
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧИСЛА ФАЗ ДЛЯ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНЫХ СИСТЕМ НАГРЕВА



Рис. 1. Макет ИРСН

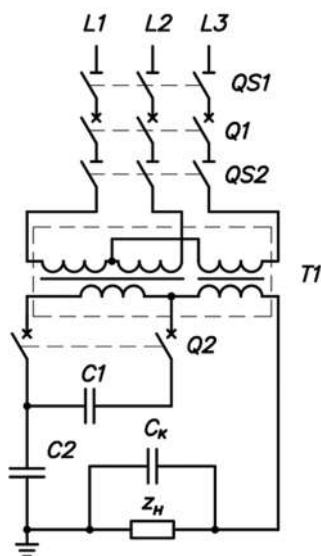


Рис. 2. Схема электроснабжения ИРСН с применением ЭПЧФ

На сегодняшний день индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН), основанные на использовании поверхностного эффекта и эффекта близости в электрических проводниках переменного тока, наиболее оптимизированы под задачи электрообогрева протяженных трубопроводов. При использовании ИРСН можно регулировать температуру нагрева эффективно и безошибочно [1].

Современные ИРСН (рис. 1), как правило, являются однофазной нагрузкой, мощность которой может достигать сотен киловатт. В целях снижения несимметрии потребляемого тока однофазной нагрузки большой мощности в трансформаторных подстанциях часто используются специальные симметрирующие комплексы, в том числе выполненные на основе электромагнитных преобразователей числа фаз (ЭПЧФ).

В промышленности России существует опыт применения ЭПЧФ с различными схемами соединения обмоток. Результаты сравнения современных схем электроснабжения для ИРСН показывают, что в качестве источника питания для них весьма целесообразно использование ЭПЧФ, спроектированного по схеме на рис. 2.

В отличие от традиционного отдельного решения задач — обеспечения электромагнитной совместимости ИРСН с питающей сетью и повышения технологической эффективности ИРСН, в работе реализовано совместное решение обеих задач, что позволит достигнуть максимальной эффективности работы всей системы.

### Литература

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга. М.: Инфра-Инженерия, 2015.

*А.А. Филатенков, асп.;*  
*рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Проблема улучшения пусковых характеристик асинхронных двигателей является актуальной и имеет большое значение как для потребителей электродвигателей, так и для электромеханики в целом.

Одним из пусковых показателей АД является пусковой ток, потребляемый электродвигателем из питающей сети при неподвижном роторе. Соответствующий показатель принято оценивать кратностью пускового тока, то есть отношением величины пускового тока к его номинальному значению. Пусковой ток входит в число важнейших технических показателей электродвигателя, и, совместно с другими показателями, задает конкурентные преимущества изделия.

Существует несколько методов снижения пускового тока, которые условно делятся на две категории — классические и современные.

Классические — широко применяемые инструменты снижения пускового тока, которые не предусматривают изменения конструкции электрической машины.

Современные — изменение геометрии клеток электрической машины и внедрение в них элементов, оказывающих влияние на пусковые характеристики двигателя.

У каждого метода имеются как преимущества, так и недостатки.

В данной работе рассматривается перспективный метод снижения пускового тока, за основу которого принят способ интенсификации эффекта вытеснения тока в клетке ротора. Наиболее существенное изменение кратности пускового тока достигается при использовании в короткозамыкающих кольцах клетки ротора ферромагнитных стальных экранов.

Полученный результат позволяет предположить, что применение исследуемого способа снижения пускового тока позволяет достигнуть высоких пусковых показателей, без ощутимого ущерба рабочим характеристикам исследуемого электродвигателя.

### **Литература**

1. **Гольдберг О.Д.** Инженерное проектирование электрических машин. М.: ИД «БАСТЕТ», 2016.
2. **Филатенков А.А.** Моделирование клеток ротора асинхронного двигателя с повышенными пусковыми показателями // Сб. Тр. IX-й межд. науч.-техн. конф. «Энергетика, информатика, инновации — 2019». Смоленск: СФ МЭИ, 2019. Т.1.

*В.В. Плыткевич, асп.;*  
*рук. В.А. Кузьмичев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ СИСТЕМЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЕЁ РАБОТЫ**

В настоящее время система вибрационного контроля оборудования гидроэлектростанций представляет собой стационарно установленный комплекс средств автоматизации, осуществляющий получение измерительной информации о вибрационном состоянии оборудования, ее преобразование, обработку, регистрацию и архивирование.

В качестве измерительных датчиков вибрации для систем мониторинга используются преобразователи виброперемещения, в которых посредством двойного интегрирования виброускорений, измеренных пьезорезистивным акселерометром возможно проведение измерения низкочастотных абсолютных виброперемещений малого уровня, что находит широкое применения для крупногабаритного роторного оборудования.

Для определения вибрационного состояния сердечника статора гидрогенератора датчики в соответствии со стандартом [1] устанавливаются с помощью магнитных крепежей на внешней поверхности активной стали сердечника, полках и обшивках корпуса статора в среднем сечении по его высоте в середине каждого сектора. Но в данном методе не учитываются температурные условия установки датчиков. Обмотка и активная сталь статора гидрогенератора активно нагреваются в процессе работы в сети и температуры их могут достигать 90 градусов по Цельсию. Высокие температуры активных элементов могут привести к выходу датчиков из строя. В технических характеристиках датчиков указана нормальная работа при температурах до 70 градусов по Цельсию.

В данной работе рассматривается совершенствование метода установки датчиков за счёт использования методов тепловизионной диагностики сердечника статора с целью определения мест установки датчиков в наиболее холодных точках на внешней поверхности активной стали статора. Таким образом использование термометрического метода для определения мест установки даст возможность предотвратить отключение датчиков контроля вибрации, тем самым обеспечив устойчивую работу системы вибрационного контроля в реальных условиях применения на ГЭС.

### **Литература**

1. **СТО 17330282.27.140.001 — 2006** Методики оценки основного оборудования гидроэлектростанций.



*Е.Д. Смирнов, студ.;*  
*рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Проблема анализа технического состояния электрических машин, в особенности мощных агрегатов, которые работают в непрерывном режиме (например, турбогенераторы, гидрогенераторы, приводы прокатных станов и т.д.), остается крайне актуальной в настоящее время. Поскольку осмотр и профилактика машины производится в выключенном состоянии, то это может привести к простою производства и лишним тратам на предприятии. Кроме того, режимы пуска и остановки для электрических машин являются самыми тяжелыми в жизненном цикле. Своевременное определение возникающих неисправностей является залогом экономической эффективности использования оборудования.

В настоящее время существуют различные методы определения неисправностей, которые могут быть использованы как для диагностики в процессе регулярного технического обслуживания (при остановке оборудования), так и для систем онлайн мониторинга, позволяющих оценить состояния оборудования в реальном времени без вывода из работы.

В работе рассматривается подход, основанный на анализе внешнего магнитного поля машины [1]. Планируется разработка цифровой модели электрической машины, соответствующей реальному образцу, создание различных сценариев технических неисправностей, сбор базы данных на основе проведенных программных экспериментов. Далее следует анализ полученной информации и выявление взаимосвязи изменения картины электромагнитного поля машины с видом неисправности. А в дальнейшей перспективе следует обучение нейронных сетей на основе данного исследования для предотвращения аварий реальных электрических машин.

В докладе представлена математическая модель электромагнитной системы в программе численного анализа электромагнитного поля, предназначенная для имитации поведения машины и ее электромагнитного поля в различных ситуациях. Проанализировав картину электромагнитного поля, при моделировании нормальной работы машины, а также нескольких неисправностей, можно будет собрать базу данных, показывающую особенности магнитного поля устройства.

### **Литература**

1. **А.Н. Морозов, Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, С.А. Нестеров.** “Идентификация по внешнему магнитному полю внутренних электромагнитных дефектов неявнополюсных синхронных генераторов”, 2022.

**Секция 22**  
**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ**  
**И КОМПОНЕНТОВ**  
**Physics and technologies of materials**  
**and components**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Серебрянников Сергей Владимирович*

*Секретарь секции: к.т.н., с.н.с. Тихонов Антон Иванович*

*А.А. Липская, студ.;*  
*рук. А.И. Тихонов, к.т.н. профессор («НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПОНЕНТНЫЙ ПОДХОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

В настоящее время в НИУ «МЭИ» ведется разработка виртуальных лабораторных работ (ВЛР) по инженерным дисциплинам. В качестве платформы разработки выбрана Dash [1]. ВЛР, написанные на Python, представляют собой веб-приложения, работающие в любом современном браузере, и не требуют установки дополнительного программного обеспечения. Dash обеспечивает взаимодействие между пользователем и приложениями, выполняющимися на сервере, без необходимости загрузки веб-страницы при каждом запросе и дает возможность разрабатывать как клиентскую, так и серверную часть ВЛР полностью на Python. В свою очередь ВЛР встраиваются в приложения Django, которое отвечает за управление контентом (электронными учебниками, ВЛР) и пользователями. Рассматриваемая технология обладает низким порогом вхождения и позволяет с минимальными затратами труда по сравнению с другими средствами разработки разрабатывать ВЛР. В руководствах по Dash рекомендовано писать нестандартные элементы пользовательского интерфейса на JavaScript и React, что требует существенно более высокой квалификации. В докладе рассматриваются средства создания ВЛР исключительно на Python, для чего была разработана библиотека, для создания компонентов. Под компонентом понимается класс Python, в котором описывается пользовательский интерфейс, состоящий из компонентов Dash, компонентов React и Python. Взаимодействие между пользователем, элементами интерфейса и другими компонентами, входящими в его состав, описываются методами обратного вызова. Регистрация компонентов осуществляется автоматически при создании экземпляра класса. По сравнению с аналогичными средствами библиотека снижает накладные расходы, связанные с диспетчеризацией событий. Разработка ВЛР начинается с создания компонентов (виртуальных приборов и устройств), из которых затем собирается лабораторная работа. Процесс сборки заключается в создании экземпляров компонентов, их взаимном расположении, после чего пишутся функции обратного вызова для обеспечения функционирования ВЛР. Данный подход позволяет повторно использовать компоненты.

В докладе обсуждаются разработанные ВЛР и их применение в учебном процессе.

### **Литература**

1. **A. Tikhonov.** Dash — платформа для разработки расчетных веб-приложений на Python, LAMBERT Academic Publishing, 2019, 218 с., ISBN 978-613-9-82332-1

*Г.И. Бадамшин соиск.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ЛЕНТ ВСПЕНЕННОГО ФТОРОПЛАСТА**

Микропористый (вспененный) политетрафторэтилен (ПТФЭ) применяют в качестве изоляции при изготовлении радиочастотных кабелей с улучшенными передаточными характеристиками. В настоящее время используют две технологии изготовления микропористой, полувоздушной изоляции коаксиальных радиочастотных кабелей: экструзия ПТФЭ на внутренний проводник или наложение ПТФЭ в виде обмотки лентой. Трудности применения технологии экструзии возникают при наложении изоляции толщиной более 3 мм. В этом случае перспективной технологией представляется реализация изоляции из микропористого ПТФЭ путём обмотки внутреннего проводника несколькими слоями микропористой ленты ПТФЭ.

В данной работе проведены исследования кабеля марки РК 50-5-412-С, с изоляцией из микропористой ленты ПТФЭ. При изготовлении кабеля использована специальная микропористая лента ПТФЭ производства фирмы Lenzing (Австрия). Необходимую толщину изоляции обеспечивали подбором соответствующего количества накладываемых слоёв ленты, имеющей определённую толщину и ширину. В нашем случае количество лент составляло 6. Ленты накладывали на очищенный спиртом и подогретый потоками горячего воздуха медный посеребренный проводник послойно методом спиральной намотки с перекрытием кромок. Наложение осуществляли в 2 прохода. Масса полученной изоляции из микропористого ПТФЭ составила 32,6 кг/км. Небольшая масса изоляции обусловлена тем, что в структуре лент из микропористого ПТФЭ 70 % объема составляет воздух. В результате такого строения диэлектрическая проницаемость изоляции снижается, что позволяет увеличить диаметр внутреннего проводника при сохранении номинального значения волнового сопротивления 50 Ом и, благодаря этому, дополнительно уменьшить потери в кабеле. С помощью векторного измерителя Спараметра измерен коэффициент затухания на образцах длинами от 10 до 50 метров при температуре 20 °С, который составил 0,18 дБ/м при частоте 1 ГГц, 0,54 дБ/м при частоте 10 ГГц и 0,76 дБ/м при частоте 18 ГГц. Изоляция исследуемого кабеля обладает весьма хорошими диэлектрическими характеристиками: значения тангенса угла диэлектрических потерь составляет  $(1 \div 2) \times 10^{-4}$ , значение диэлектрической проницаемости не более 1,35. Диапазон рабочих температур кабеля от минус 60 до 165 °С. Скорость распространения сигнала в этом кабеле приблизительно на 30 % выше, чем в аналогичном кабеле с изоляцией из сплошного ПТФЭ.

*Л.А. Вассуф, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Одним из бурно развивающихся направлений в электроизоляционной технике сегодня является создание изоляции с высокими функциональными свойствами, такими как электрические, механические, тепловые и т.д. Решение таких задач возможно на пути создания композитов на полимерной основе. Актуальными в настоящее время являются композиты, одновременно обеспечивающие высокие электрические свойства при высокой температуре эксплуатации [1].

Данная работа посвящена разработке композита соответствующего классу нагревостойкости Н с улучшенными электрическими свойствами, а также технологии производства такого композита.

Полимерный композит — это многофазный материал, в котором армирующий наполнитель интегрирован с полимерной матрицей, в результате чего механические свойства композита не могут быть достигнуты ни одним из компонентов по отдельности. В данном случае в качестве наполнителя выбран специальный вид бумаги плотностью М-100, а в качестве связующего использован материал на основе полиуретанового герметика и смесь кремнийорганических лаков КО-921 и КО-915.

Получен материал в двух видах в виде пленки толщиной 0,13 мм и виде листового пластика толщиной 2,0 мм. Технология производства предусматривала нанесение связующего вещества в количестве 23,7 %, при этом после сушки содержание растворимой части связующего в образце составляла 19,2 %. Термообработку производили при температуре около 300 °С в течение 1 часа.

Полученный электроизоляционный материал обладает хорошими электроизоляционными свойствами: тангенс угла диэлектрических потерь при нормальных климатических условиях и напряжении 1000 В составил 0,0123 (1,23%), электрическая прочность пленки превысила 18 кВ/мм, относительная диэлектрическая проницаемость не более 3. Определен уровень частичных разрядов при приложении переменного испытательного напряжения.

### **Литература**

1. **Бондалетова Л.И.** Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — 118 с.

*А.А. Поспелов, асп.;*  
*рук. А.Е. Шупенев, к.т.н. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК $\text{MoS}_2$ , ПОЛУЧАЕМЫХ НА КЕРАМИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЯХ МЕТОДОМ ИМУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ (PLD)**

Пленки на основе дисульфида молибдена, полученные на керамических основаниях, представляют практический интерес в качестве оптических покрытий. Подобные покрытия могут быть использованы в различных измерителях энергетических параметров оптического излучения. Перспективность использования пленок на основе  $\text{MoS}_2$  на подложках AlN обусловлена особыми оптическими свойствами и лучевой стойкостью.

В настоящей работе нами изучено влияние технологических параметров метода PLD и параметров состояния поверхности керамических подложек на оптические свойства и лучевую стойкость получаемых пленок.

Для осаждения использовался эксимерный KrF лазер с длительностью импульса 30 нс и длиной волны 248 нм с углом падения на мишень  $45^\circ$ . Осаждение пленок осуществлялось при различных температурах подложек 200 и  $750^\circ\text{C}$ , расстоянии от мишени до подложки 110 мм, давлениях  $10^{-5}$  и 0,1 Торр защитного газа (Ar 99.99%) и плотности энергии лазерного излучения 5 Дж/см<sup>2</sup>. Подложки представляли собой четыре диска AlN диаметром 50 мм и толщиной 500 мкм, разделенные на четыре равных сектора, в которых при помощи лазерной гравировки была получена шероховатость 5, 10, 13 и 20 мкм по Rz. Шероховатость была измерена методом профилометрии.

Каждый сектор освещался спектром длин волн от 0,8 до 12,5 мкм и фиксировалось полное отражение. Лучевая стойкость изучалась при последовательном облучении секторов образцов длиной волны 1,07 мкм с поэтапно увеличивающейся плотностью энергии. Контроль состояния покрытия осуществлялся измерением диффузного отражения на фотометрической сфере проходного типа.

В результате были определены зависимости отражательной способности покрытий от шероховатости подложки, температуры ее подогрева и давления в вакуумной камере.

*Д.А. Тарасов, соиск.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

Современные сети связи построены с использованием оптических кабелей (ОК), в которых передач сигналов происходит по оптическому волокну (ОВ). Если производитель ОК идентифицирует свою продукцию путём нанесения маркировки на внешнюю оболочку, то установить производителя ОВ после изготовления кабеля визуально невозможно, все ОВ имеют одинаковый диаметр и, как правило, цветовую маркировку. Однако, в отдельных случаях, весьма важно знать производителя ОВ.

В данной работе путём проведения специальных исследований предложен вариант решения непростой задачи по разработке метода распознавания производителя ОВ по результатам измерения параметров.

С целью поиска метода определения производителя и подкатегории ОВ составлена программа испытаний 15 образцов одномодовых оптических волокон 5 подкатегорий, изготовленных 8 различными производителями, которая включала определение геометрических (диаметров сердцевины, оболочки, первого и второго слоёв первичного защитного покрытия), оптических (спектрального затухания в диапазоне длин волн от 1100 нм до 1650 нм с шагом 10 нм, диаметра модового поля, волоконной длины волны отсечки, потерь, вызванных макроизгибами, хроматической дисперсии, параметров вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и профиля показателя преломления) характеристик ОВ, а также определения ИК спектра двухслойного первичного защитного покрытия.

Полученные результаты продемонстрировали, что определение производителя ОВ должно основываться на комплексном анализе целого ряда параметров, а не одном отдельном параметре. Показано, что оптические характеристики ОВ в большей степени подходят для идентификации, чем данные геометрических измерений и анализ ИК-спектров поглощения первичного защитного покрытия.

Предложен метод идентификации производителя ОВ на основе результатов измерения значений оптических и геометрических характеристик ОВ. Данный метод может применяться как операторами связи, так и производителями ОК или ОВ с целью определения производителя ОВ, применённого в конечном изделии, например, в ОК.

Г.Ю. Круган, студент; рук. А.В. Матасов, асс. (НИУ «МЭИ»)

## СПИНОВАЯ ПРИРОДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ В СВЕРПРОВОДНИКАХ

Согласно общепринятой теории сверхпроводимости Бардина-Шриффера-Купера [1], сверхпроводящее состояние может разрушаться за счет нагрева или помещения образца во внешнее магнитное поле, что мотивирует искать новые механизмы сверхпроводимости с более высокими температурами и полями. В данной работе рассмотрен процесс зеемановского расщепления энергетических уровней куперовской пары во внешнем магнитном поле по спином, а также приводится оценка критического поля через сверхпроводящую щель.

На данный момент в сверхпроводниках второго рода второе критическое поле оценивается двумя способами: через термодинамическую оценку Клогстона [2]  $H_{c2} = 1,84 \cdot T_c$  и через длину когерентности  $H_{c2} = \Phi_0 / (2\pi\xi^2)$ , где  $\Phi_0 = \pi\hbar c/e$  — квант магнитного потока,  $\xi$  — длина когерентности.

Решая уравнение Шредингера с гамильтонианом взаимодействия спинов [3], мы можем получить зависимости энергии от поля, где точка пересечения отвечает второму критическому полю:

$$B_{c2} = A \frac{(\mu_{B1} + \mu_{B2})}{\mu_{B1}\mu_{B2}} = \frac{\Delta (\mu_{B1} + \mu_{B2})}{4 \mu_{B1}\mu_{B2}}, \quad (1)$$

где  $\Delta$  — энергетическая щель,  $\mu_{B1}, \mu_{B2}$  — магнетоны Бора для частиц пары. Это выражение позволяет оценить возможность существования выбранного механизма сверхпроводимости по соотношению с экспериментальными значениями  $B_{c2}$ .

Если формулу (1) представить для двух одинаковых частиц, то она упрощается:

$$B_{c2} = \frac{2A}{\mu_B} = \frac{kT_c}{\mu_B}.$$

Данная оценка дает неплохие результаты для сверхпроводящих сплавов, металлических соединений, фуллеридов, нитридов, а также фаз Лавеса, но дает не высокую точность для фаз Шевреле и  $MgB_2$ .

### Литература

1. **Курин В.В.** Микроскопическая теория сверхпроводимости: теория Бардина-Купера-Шриффера: Учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. — 106 с.
2. **Clogston А.М.** Upper Limit for the Critical Field in Hard Superconductors // Phys. Rev. Lett. 1962. Т. 9. С. 266.
3. **Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.** Фейнмановские лекции по физике. Том 8. Квантовая механика, 1996 г.



*А. Рааб, студ.;  
рук. П.И. Лазаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МИЭТ», Москва)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК GeTe ДЛЯ УСТРОЙСТВ ФАЗОВОЙ ПАМЯТИ**

В последние годы наблюдается рост интереса к фазопеременным материалам. Перспективным направлением развития технологии фазовой памяти является разработка структуры на основе сверхрешеток GeTe и Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, получившей название интерфейсной фазовой памяти (Interfacial Phase-Change Memory, iPCM) [1]. Однако данное направление памяти, как и соединения используемые в нем, требуют изучения. Таким образом, целью данной работы является отработка технологии нанесения тонких пленок GeTe, применяемых в устройствах фазовой памяти.

Осаждение тонких пленок GeTe осуществлялось методом магнетронного распыления мишени. Для определения режима осаждения были проведены исследования толщины полученных слоев (методом атомно-силовой микроскопии) и изменения электрофизических характеристик (контроль удельного сопротивления). Измерения температурных зависимостей удельного сопротивления проводились при помощи аппаратно-программного комплекса на основе термостоллика Linkam HFS600E-PB4, источника питания Agilent E3647A и пикоамперметра Keithley 6485. Исследуемые образцы представляли собой окисленную кремниевую подложку, со сформированными электродами из W, поверх которых наносился слой GeTe.

В результате проведенных исследований были определены толщины получаемых пленок, что позволило оценить скорость их осаждения (0,4 нм/сек). По результатам измерений удельного сопротивления были определены температурный диапазон фазового перехода из аморфного состояния в кристаллическое (188–200 °С), а также перепад сопротивлений между ними (более 4 порядков). Полученная величина больше, чем у наиболее широко используемого в технологии РСМ материала Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> (2 порядка). Увеличение перепада между двумя фазовыми состояниями может обеспечить более высокую надежность работы ячейки фазовой памяти.

Таким образом, была отработана технология осаждения тонких пленок GeTe, оценена скорость их осаждения, определены температуры фазового перехода GeTe. В дальнейшем отработанная технология нанесения тонких пленок GeTe будет использована при разработке iPCM.

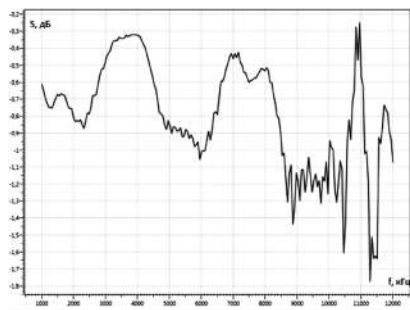
### **Литература**

1. **Simpson R.E.** et al. Interfacial phase-change memory // Nature nanotechnology. — 2011. — Т. 6. — №. 8. — С. 501–505.

В.Г. Ковальчук, студ.;  
рук. С.С. Серебрянников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ФЕРРИТАМИ И УГЛЕРОДИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Исследование относится к технологии радиопоглощающих ферритов, которые находят все более широкое применение в современной промышленности. При взаимодействии радиопоглощающего материала с электромагнитным излучением происходят одновременные процессы поглощения, рассеяния и интерференции радиоволн [1].



**Рис. 1.** Зависимость радиочастотного параметра  $S_{12}$  от частоты для композиционного материала на основе Ва-Со-Zn феррита с дошихтовкой углеродистым наполнителем

Измерения производились в диапазоне частот от 1МГц до 12,5 ГГц.

У большинства магнитных материалов и композиций на их основе присутствует узкий диапазон поглощения, связанный с составом, структурой и технологией получения. Основной задачей создания радиопоглощающего материала на основе ферритов различных структур является поиск технологических решений, синтеза и обработки [2].

Способ получения композита включает в себя синтез ферритового порошка из соединений с Ва Со, Zn измельчение синтезированной шихты до определённой фракции, последующее смешивание с углеродистым наполнителем и внедрение в полимерную матрицу. В работе была получена радиочастотная зависи-

### Литература

1. **Морченко, Александр Тимофеевич.** Радиопоглощающие свойства ферритов и магнитодиэлектрических композитов на их основе: диссертация кандидата физико-математических наук: 01.04.10 / Морченко Александр Тимофеевич; [Место защиты: Нац. исслед. технол. ун-т]. — Москва, 2014. — 160 с.
2. **В.Г. Костишин.** Радиопоглощающие свойства феррит-полимерных композитов поливиниловый спирт / Ni-Zn феррит. Журнал технической физики, том 92, вып. 1, Москва, 2022 г., 137 с.

*В.Г. Ковальчук, студ.;  
рук. С.С. Серебрянников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТОВ НА ЧАСТОТАХ ОТ 1,2 ДО 5,6 ГГц**

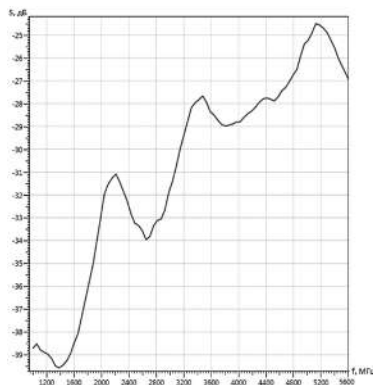
Проблема поглощение электромагнитного излучения набирает актуальность по мере развития радиоэлектронной аппаратуры, ведь восприимчивость к подобного рода электромагнитным воздействиям является причиной сбоя или выхода из строя оборудования.

Особый интерес вызывают открытые не регламентированные радиочастоты, используемые в различных системах глобальной навигации связи и передачи информации. В частности, данные радиочастоты применяются в системах ГЛОНАС и GPS навигации, а также морской авиационной навигации [1].

Материалы сохраняют свои свойства лишь в ограниченном диапазоне частот из-за состава и структуры, определяющих способность к поглощению высокочастотного излучения. Ввиду этого актуален поиск новых поглощающих материалов. Примером такого материала является феррит в качестве наполнителя [2].

В работе приведены результаты исследований радиопоглощающих свойств феррита на основе соединения с Ва, Ti, Co.

Зависимость радиочастотного параметра от частоты представлена на рисунке 1. На частоте 1,46 ГГц наблюдается максимальное поглощение при измерении падающей и отраженной волны, и составляет -39,7 дБ.



**Рис. 1.** Зависимость поглощения радиочастотного сигнала от частоты феррита на основе Ва-Ti-Co

### **Литература**

1. Левиков А.А., Овчинников Д.А. Сравнительный анализ спутниковых навигационных систем gps и глонасс // Информационные технологии и когнитивная электро-связь. — 2022. — с. 69–74.
2. Костишин В.Г. Перспективы применения ферритов с высокими значениями магнитной и диэлектрической проницаемостей в качестве радиопоглощающих материалов. Russian Technological Journal. — 2020. — с. 87–108.

*К.С. Катков, студ.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛЕВЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ**

В процессе эксплуатации кабелей связи не должно быть проникновение воды во внутрь конструкции, поскольку вода меняет параметры изоляции. С целью защиты от воздействия воды конструкция кабеля содержит водоблокирующие материалы, препятствующие проникновению и распространению воды по кабелю. Примером таких водоблокирующих материалов являются гидрофобные гелевые наполнители, которыми заполняются всё пустое пространство внутри кабеля [1].

Гидрофобные наполнители в виде геля отличаются от других водоблокирующих материалов, используемых в конструкции кабеля в виде водоблокирующих нитей и лент, высокой степенью надежности. Отдельно стоит отметить невозможность распространения воды даже в местах повреждения защитных оболочек изоляции. Воду блокирует гель, который препятствует распространению воды в обе стороны от места повреждения [2]. Из недостатков применения геля стоит отметить: увеличение веса кабеля, возможное ухудшение механических свойств кабеля (в частности гибкости), а также необходимость нормирования стойкости к вертикальной прокладке. Гель не должен вытекать из кабеля, в том числе, и при максимальной температуре эксплуатации кабелей.

В данной работе рассмотрена технология производства гелевого наполнителя на основе нефтяных масел, содержащего минеральное масло, полиизобутилен, церезин и 4-метил-2,6-дитретбутилфенол, который предназначен для продольной герметизации кабелей связи. Проведены испытания кабеля связи с бумажной изоляцией марки ТГ на отсутствие вытекания гелевого наполнителя при максимальной температуре эксплуатации кабеля 50 °С, а также испытания по определению температуры каплепадения гелевого наполнителя на основе нефтяных масел.

### **Литература**

1. **Трофимов А.С.** Гидрофобный наполнитель для кабелей электросвязи / А.С. Трофимов, О.Л. Крамер, В.Ю. Шолом // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. — 2019. — С. 494–496.
2. Кабельные системы: кабельно-проводниковая и другую электротехническая продукция: сайт. — Москва, 2002 — URL: <https://kabel-s.ru/> (дата обращения: 15.11.2022)

**Секция 23**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ**  
**И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ**  
**СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**  
**Electrotechnical and electromechanical**  
**systems and complexes**

---

*Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Румянцев Михаил Юрьевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Соломин Александр Николаевич*

*А.С. Лискин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С МАССИВНЫМИ РОТОРАМИ**

Гистерезисный электропривод [1] традиционно применяется в устройствах и системах ориентации, стабилизации, навигации, управления движением летательных аппаратов [2, 3], в технологических линиях по получению чистых и сверхчистых веществ, в машинах по выпуску химических волокон и нитей. Для прецизионных приборов, требующих высокой точности размещения центра масс, прочности и стабильности всей конструкции используются гистерезисные электродвигатели с массивными (монолитными) роторами и массивными статорами. При их проектировании особенно важен строгий учёт вихревых токов в магнитных материалах.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Акционерного общества «Научно-производственный центр автоматки и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» (АО «НПЦАП имени академика Н.А. Пилюгина») [3]. В нём ведётся научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- создание и апробация математической модели гистерезисного электропривода с электродвигателями с массивными роторами;
- создание и апробация математической модели гистерезисного электродвигателя с массивными магнитопроводами статора и ротора;
- анализ и обобщение экспериментальных данных о проявлении вихревых токов в магнитопроводах гистерезисных электродвигателей.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также интенсивным межотраслевым переносом электромеханических гироскопических технологий при создании продукции двойного назначения. В соответствии с ним гистерезисные электроприводы эффективно применяются в атомной, химической, текстильной и смежных с ними отраслях.

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-08-01045\_а, № 20-08-01106\_а.

### **Литература**

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3–16.
3. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н.А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.

*А.А. Антаненков, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРСИРОВАННОГО ПУСКА И СКОЛЬЖЕНИЯ РОТОРА ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЪЕКТОВ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ**

Гистерезисный электропривод [1] является основным типом привода объектов точной механики, в частности, систем управления и автономной навигации летательных аппаратов [2, 3]. Ключевыми элементами таких систем являются гироскопы, в частности, с электроприводом и механическим носителем кинетического момента или электромеханические гироскопы. В настоящее время также разрабатываются и используются микромеханические, волоконно-оптические и другие гироскопы. Долгосрочные прогнозы показывают, что электромеханические гироскопы, наряду с ними, будут успешно применяться в обозримой перспективе [2].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Акционерного общества «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» (АО «НПЦАП имени академика Н.А. Пилюгина») [3]. В нём ведётся научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- математическое описание и моделирование форсированного пуска гистерезисного электродвигателя в составе электропривода;
- математическое описание и моделирование гистерезисного электродвигателя в электроприводе в режиме скольжения ротора;
- математическое моделирование преобразователя частоты и напряжения с трёхфазным инвертором и блока импульсного намагничивания.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций, а также сочетанием фундаментального и прикладного характера результатов. Фундаментальный характер связан с исследованием электромагнитных процессов, а прикладной — с реализацией гистерезисных электроприводов объектов точной механики.

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-08-01045\_а, № 20-08-01106\_а.

### **Литература**

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3–16.
3. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н.А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.

*И.А. Федоров, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ РАСЧЁТА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МИКРОЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

В настоящее время высокоскоростные прецизионные гистерезисные микроэлектродвигатели [1] широко применяются в электроприводе технологических линий по получению чистых и сверхчистых веществ, лёгких и сверхлёгких электрошпинделей и электроверетён машин и агрегатов по производству и переработке химических волокон, нитей и тканей. Также они широко используются в гироскопах с электроприводом и механическим носителем кинетического момента — электромеханических: с поплавковым подвесом ротора и динамически настраиваемых гироскопах [1-3].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «Научно-производственный центр автоматике и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина». В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- обзор и анализ структурных схем и элементов электроприводов на базе высокоскоростных прецизионных микроэлектродвигателей, существующих моделей гистерезисных электроприводов и их недостатков;
- синтез базовых вариантов электропривода и его основных элементов, выбор способов и средств, практических рекомендаций, способствующих улучшению качества проектирования и характеристик привода;
- анализ и обобщение экспериментальных данных о магнитных материалах роторов исследуемых гистерезисных микроэлектродвигателей.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций и межотраслевым переносом электромеханических технологий с созданием продукции двойного назначения. В соответствие с этим гистерезисные электроприводы эффективно применяются в атомной, химической, текстильной и смежных отраслях.

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-08-01045\_а, № 20-08-01106\_а.

### **Литература**

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3–16.
3. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н.А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.



*А.А. Козьменко, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯТОРА В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Вентиляторные подсистемы являются важной составной частью систем электрооборудования летательных аппаратов [1]. В состав электромеханической системы рассматриваемого вентилятора летательного аппарата входят следующие основные элементы: электродвигатель, приводящий вентилятор во вращение; выпрямитель трёхфазного напряжения; ограничитель тока заряда буферной ёмкости; фильтр; корректор коэффициента мощности; буферная ёмкость; инвертор; блок защиты по току и температуре; блок управления; блок питания.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Акционерного общества «Авиационная электроника и коммуникационные системы» (АО «АВЭКС»). В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- анализ структурно-функциональной схемы системы;
- проектный и поверочный электромагнитный расчёт электродвигателя, приводящего вентилятор рассматриваемой конструкции во вращение;
- выбор структуры, расчёт и моделирование управляемого инвертора, обеспечивающего электропитание приводного электродвигателя;
- моделирование системы управления электродвигателем;
- расчёт и анализ рабочих показателей и характеристик приводного электродвигателя в основных режимах работы электропривода.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций, в числе которых АО «АВЭКС» и Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А.Г. Иосифьяна (Москва), в том числе в области вентиляторных подсистем систем электрооборудования летательных аппаратов.

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-08-01045\_а, № 20-08-01106\_а.

### **Литература**

1. **Авербух В.Я., Вейнберг Д.М., Верещагин В.П., Мирошник О.М., Михайлов Е.М., Ремизов В.Е., Стома С.А., Шереметьевский Н.Н.** Электромеханические устройства космических аппаратов и ракет-носителей // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ / Издательство: Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А.Г. Иосифьяна (Москва). Том: 100. Год: 2001. С. 89–96.

*В.К. Шестаков, асп.;*  
*рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МОЩНОСТЬЮ 500 КВТ ДЛЯ ПРИВОДА ВОЗДУШНОГО ВИНТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

В настоящее время актуальной является задача увеличения топливной эффективности летательных аппаратов. Один из путей решения этой задачи связан с заменой маршевых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на электродвигатели (ЭД). Данный подход пока возможен в малой региональной авиации, где мощности турбовинтовых двигателей (ТВД) не превышает 2 МВт [1].

В докладе представлены результаты первых этапов разработки и исследования ЭД мощностью 500 кВт, предназначенного для использования в приводе воздушного винта самолета. Питание ЭД осуществляется через преобразователь частоты со звеном постоянного тока от трехфазного генератора, приводящегося в движение от ТВД, который работает в режиме с максимальным КПД, что позволяет значительно снизить количество потребляемого топлива.

В качестве объекта использования рассматривается самолет ИЛ-114-300 с двумя ТВД мощностью 2,1 МВт и вертолет АНСАТ с двумя ТВД мощностью 500 кВт. Предлагается включить между ТВД и воздушными винтами электрическую передачу, в которой несколько ЭД, будут работать параллельно на нагрузку через понижающий редуктор или редуктор с передаточным числом 1.

Для обеспечения ресурса и надежности был выбран вентильный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Обмотка статора выполнена шестифазной, выполненной по развязанной схеме. Каждая фаза питается от однофазного двухполупериодного инвертора. Это решение позволяет повысить надежность, т.к. отключение одной фазы не приводит к отказу электродвигателя. Для электродвигателей выбрана жидкостная система охлаждения машин, что позволило снизить массу электродвигателя.

В процессе исследований было проведено сравнение удельных мощностных характеристик двух конструкций ЭД: классической и обращенной, исследовано влияние противо-ЭДС фазы ЭД на КПД. Рассчитаны и проанализированы механические характеристики ЭД.

### **Литература**

1. Электрический самолет: концепция и технологии / А.В. Левин, С.М. Мусин, С.А. Харитонов, К.Л. Ковалев; под. ред. С.М. Мусин; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. — Уфа: УГТАУ, 2014, — 388 с.

*Т.С. Латыпов, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ПРЯМОГО ПУСКА И АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ**

Гистерезисный электропривод, благодаря своим достоинствам [1], широко применяется в прецизионных технологических системах. К таким системам, в частности, относятся устройства и комплексы управления и автономной навигации летательных аппаратов различных классов [2, 3], технологические линии по получению чистых и сверхчистых веществ, машины и агрегаты по производству химических волокон, нитей и тканей.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Акционерного общества «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» (АО «НПЦАП имени академика Н.А. Пилюгина») [3]. В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. В качестве базового варианта для исследования выбран гистерезисный электропривод для класса гироскопов высокой точности, применяемых в приборах и системах автономной навигации летательных аппаратов. Личный вклад автора состоит в следующем:

- математическое описание и моделирование режима прямого пуска гистерезисного электродвигателя с учётом магнитного состояния ротора;
- математическое описание и моделирование асинхронного режима гистерезисного электропривода с учётом особенностей прямого пуска;
- моделирование преобразователя частоты и напряжения с инвертором, обеспечивающим электропитание и управление электродвигателем.

Перспективы использования результатов обусловлены направлениями исследований профильных организаций и межотраслевым переносом электромеханических технологий с созданием продукции двойного назначения. В соответствие с этим гистерезисные электроприводы эффективно применяются в атомной, химической, текстильной и смежных отраслях.

Исследования, рассматриваемые в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 20-08-01045\_а, № 20-08-01106\_а.

### **Литература**

1. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.
2. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3–16.
3. **С.Ю. Останин, П.С. Рудник.** Совершенствование программных средств автоматического проектирования гистерезисных электроприводов // Труды ФГУП «НПЦ АП» имени академика Н.А. Пилюгина. 2016. № 1 (35). — С. 46–53.

*А.С. Жданов, студ.; рук. А.Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЕНТИЛЬНОМ ИНДУКТОРНОМ ДВИГАТЕЛЕ С ОБМОТКОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

В качестве объекта исследования в проводимой работе был выбран вентильный индукторный двигатель с обмоткой возбуждения, который в силу таких достоинств, как надежность, простота конструкции, бесконтактность и возможность регулирования магнитного потока, является перспективным для использования в качестве тягового двигателя на мобильных объектах разного назначения.

Одним из важнейших этапов проектирования электромеханических систем является их электромагнитный расчет. В этом отношении сложность расчета магнитных систем индукторных машин такого типа обусловлена тем, что в контуре замыкания магнитного потока присутствуют участки как с радиальным, так и с аксиальным направлением потока, что не позволяет использовать методы и средства, основанные на принятии допущения о плоскопараллельности картины поля.

Для проведения исследований была использована расчетная программа, реализующая метод эквивалентных схем замещения магнитной и электрической цепи [1]. По сравнению с программами, основанными на методе конечных элементов, этот расчетный инструмент позволяет за приемлемое время проводить исследовательские и оптимизационные расчеты, проигрывая, однако, в учете локальных насыщений магнитной цепи.

При проведении исследований был проведен анализ вариантов различной степени детализации в схеме замещения зубцов ротора, являющихся одним из самых крупных элементов схемы при использовании применяемого подхода. Для выбранного варианта исследовано влияние и проведена оптимизация геометрических размеров зубцов ротора.

На заключительном этапе исследований был выбран оптимальный алгоритм управления вентильным двигателем, при котором во всем диапазоне частот вращения требуемая тяговая характеристика обеспечивалась бы при максимальном КПД в условиях имеющегося источника питания.

### **Литература**

1. **Русаков А.М., Окунева Н.А., Соломин А.Н., Шатова И.В.** Математическая модель электромагнитных процессов в вентильных двигателях. // Вестник МЭИ, 2007. — № 3. с. 33–39.

*Б.Н. Бойматов, студ.; рук. А.В. Бериллов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

В условиях нестабильного электроснабжения для важных потребителей актуальной является задача обеспечения гарантированного их электропитания независимо от возможных проблем, которые могут случиться в централизованной электросети.

К таким проблемам относятся, например резкие повышения напряжения, которые чаще всего вызваны короткими замыканиями или попаданием разряда молнии в провода или подстанцию. Несмотря на принимаемые меры по защите от грозы, такие случаи время от времени случаются и кроме сбоев в работе могут повлечь выход оборудования из строя.

Недостаточный уровень напряжения или его перепады могут вызвать сбой в работе чувствительного оборудования, потерю компьютерных данных и другие нежелательные последствия.

Исчезновение напряжения — кратковременное или продолжительное — в итоге парализует производство, различные системы — связи, охраны, обеспечения жизнедеятельности и прочие перестают работать.

Все это приводит к необходимости устанавливать оборудование, которое позволит свести к минимуму негативные последствия отказов централизованной электросети.

Различают два вида таких систем, позволяющих решить подобные задачи: системы бесперебойного электропитания и системы гарантированного электропитания.

В докладе рассматриваются варианты реализации источников бесперебойного электропитания (ИБП) ответственных потребителей и отдельные вопросы схемотехнической реализации некоторых их узлов. В состав схемы входят выпрямитель, трансформатор, выполняемый высокочастотным, благодаря чему можно существенно уменьшить массогабаритные показатели готового ИБП, инвертор, позволяющий обеспечить требуемое качество выходного напряжения за счет выбранного алгоритма управления силовыми ключами, а также система заряда аккумуляторных батарей.

Ключевым отличием разрабатываемого ИБП от аналогов является сочетание большой выходной мощности (5 кВт) и малых габаритов (в пределах 500 мм в каждом измерении), а также скорость переключения на резервное питание (менее 4 мс).

Д.Р. Нургалиев, студ.; рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ЗАЗОРЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Форма индукции в воздушном зазоре высокоскоростных электрических машин с ротором из цилиндрического магнита (рис. 1, а) близка к синусоидальной. При этом уровень индукции зависит от соотношения внешнего диаметра магнита и диаметра расточки статора, разница между которыми во многом определяется механическими свойствами бандажа. Следует учесть, что такое соотношение изменяется в довольно узком диапазоне, что в свою очередь дает возможность определения индукции в воздушном зазоре  $B_\delta$  в функции от диаметра расточки статора. Это обстоятельство позволяет перейти от независимого выбора  $B_\delta$  в выражении «машинной постоянной Арнольда» к явному определению  $B_\delta$  для рассматриваемого диаметра статора. Таким образом, выбор электромагнитных нагрузок сведётся лишь к выбору линейной нагрузки.

На рисунке 1, б представлена, определенная в результате проведённых расчетных исследований, зависимость значения радиальной составляющей магнитной индукции в зазоре от диаметра расточки статора для разных диаметров магнита ротора (указаны в легенде).

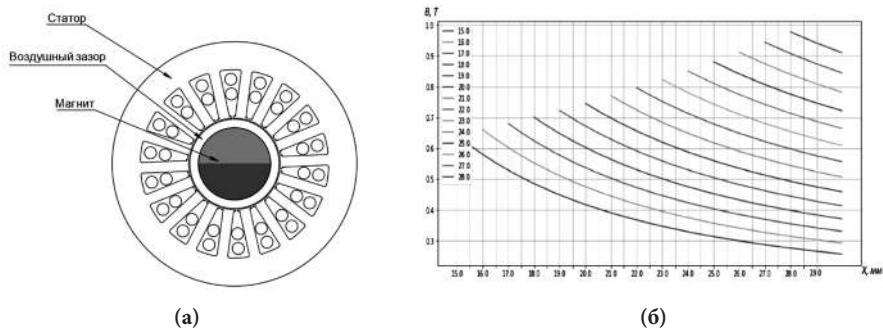


Рис. 1. Зависимость распределения магнитной индукции в воздушном зазоре при различном размере ротора машины

Из рисунка видно, что все зависимости имеют подобный вид. Представление их в относительной системе координат может позволить определить единую зависимость уровня индукции от соотношения диаметра магнита и диаметра ротора, а также уточнить методику проектного расчета машин такого типа.

*Д.Н. Петухов, студ.; рук. К.А. Воронцов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Генераторный режим работы асинхронной машины с короткозамкнутым ротором (АМКЗР) используется сегодня больше в теоретическом плане (в поисковых исследованиях), чем на практике. При этом режим её самовозбуждения обеспечивается тем или иным схемотехническим решением, которое реализует ёмкостную реакцию якоря. Известны два основных направления решения этой задачи: с помощью конденсаторов или с помощью четырёхквadrантных преобразователей.

Проблемный характер первого направления заключается в трудности решения задачи регулирования ёмкости конденсаторов самовозбуждения (КСВ). При этом используются два способа: путём применения регулируемого (фазовым способом) тиристорно-дрессельного компенсатора реактивной мощности; или путём дискретного изменения ёмкости конденсаторной батареи с помощью определённого числа трёхцепевых электронных переключателей (ТЦЭП). Оба способа решения поставленной задачи характеризуются повышенной сложностью реализации, что сдерживает практическое применение такого типа генерирующей энергоустановки (ГЭУ).

В работе приводятся результаты исследований наиболее простого, предложенного на кафедре ЭКАО и ЭТ НИУ «МЭИ» технического решения ГЭУ на базе АМКЗР с КСВ и только с одним ТЦЭП. Особенностью решения является импульсный характер регулируемого широтно-импульсным способом ёмкостного тока самовозбуждения, что и потребовало более детального исследования этого нового режима с целью выработки рекомендаций по проектированию этого решения и применения его, в конечном счёте, на практике. В качестве средства решения поставленной задачи использовано имитационное компьютерное моделирование (ИКМ) в среде OrCAD. Приведены результаты ИКМ в виде осциллограмм рабочих процессов, подтверждающих правомерность проектного замысла.

*М.А. Михайлов, аспирант,  
рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ НА ОРИЕНТАЦИЮ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Повышение требований по точности стабилизации космического аппарата (КА) приводит к необходимости разработки электроприводов солнечной батареи (СБ) с минимизацией возмущающих воздействий, передаваемых на места крепления. Основное направление исследований данной проблемы связано с изучением внутренней динамики приводов, разработкой уточненных математических моделей и оценкой на их основе возмущений, создаваемых приводом с установленной СБ.

Нагрузкой рассматриваемого электропривода является СБ, представляющая собой сложный динамический объект. Однако, для оценки влияния привода с СБ на динамику КА в первом приближении можно рассматривать СБ как твердое тело.

Наибольшее распространение получили привода СБ, осуществляющие слежение за Солнцем вращением СБ вокруг одной оси. Скорости слежения обычно существенно не превышают скорости изменения углов Солнца относительно связанной системы координат КА (диапазон изменения от 0,1 до 1 град/с).

Для привода СБ, построенного на основе редукторного электропривода, в котором применен шаговый двигатель, исключается возможность установки на вал двигателя компенсирующего маховика. Таким образом, задача компенсации кинетического момента вращения СБ перекладывается на систему стабилизации КА.

Прямое измерение возмущающих моментов, создаваемых приводом СБ на корпус КА, практически не оправдано из-за сложности имитации условий гравитации, глубокого вакуума, инерции КА и СБ, а также метрологических проблем. В качестве критерия оценки возмущений принята скорость неуправляемого твердого тела (КА) — основания привода, возникающая при вращении приводом другого твердого тела (СБ).

В настоящей работе представлены результаты по созданию динамической математической модели электропривода СБ. На основе применения разработанной модели получены зависимости мгновенных значений угловой скорости и углового перемещения КА в функции времени.

### **Литература**

1. **Кенио Т.** Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоатомиздат. 1987.
2. **Вейнберг Д.М.** Уникальные электромеханические бортовые системы орбитальной космической станции «Мир». М.: Наука, 2001.



## **Секция 24**

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ**

### **Electrical and electronic apparatuses**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Киселев Михаил Геннадьевич*

*Секретарь секции: Конюшенко Елизавета Владимировна*

*Е.Д. Зенько, студент; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н. (НИУ «МЭИ)*

## **РАЗРАБОТКА МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ОТНОШЕНИЕМ ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Возобновляемые источники энергии обладают огромным потенциалом для развития в нашей стране. Одними из таких источников электроэнергии являются ветроэлектростанции (ВЭС). На данный момент передача крутящего момента в ВЭС производится посредством механических мультипликаторов, имеющих ряд недостатков, таких как невысокая надёжность, трение, вызывающее перегрев деталей, необходимость регламентного техобслуживания, смазывания деталей, большие вибрации и шум, вызванные работой устройства. Магнитные передачи, активно изучаемые в последние годы, могут стать эффективной заменой их механических аналогов [1].

Благодаря простоте и хорошим техническим данным, наиболее распространённой топологией магнитных передач стал коаксиальный редуктор, в котором зубчатое зацепление заменено постоянными магнитами и вращение происходит благодаря взаимодействию магнитных полей роторов устройства. Добавление трёхфазной обмотки в пазы статора даёт возможность управления передаточным отношением редуктора [2].

В работе произведено статическое и динамическое моделирование управляемого магнитного редуктора. Посредством произведённой оптимизации геометрических параметров модели, определённых из конструктивных соображений прочности и надёжности, создана трёхмерная модель эскиза устройства и его расположение в гондоле ветроагрегата. При помощи разработанных моделей стало ясно, что регулированием частоты питания обмотки статора можно поддерживать постоянную частоту вращения выходного вала при изменении скорости входного. Результаты расчётов показали, что система передачи мощности и генерации электроэнергии для ВЭС на основе магнитной передачи обладает на 24% меньшей ценой активных материалов по сравнению с традиционной системой прямого привода.

### **Литература**

1. **K.Atallah and D.Howe.** “A novel high-performance magnetic gear” IEEE Trans. on Magnetics — 2001. Vol. 37. No.1 — pp. 2844–2846.
2. **N.W. Frank and H.A. Toliyat,** “Gearing ratios of a magnetic gear for wind turbines,” 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2009, pp. 1224–1230.

*М.С. Алферов, асп.;*  
*рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИНХРОНИЗИРОВАННОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

В последнее время существует уверенная тенденция применения генераторных выключателей на строящихся блоках электростанций. Это стало следствием больших экономических потерь, связанных с авариями на электростанциях при отсутствии выключателя в цепи генератор — повышающий трансформатор. Основной сложностью в работе генераторного выключателя является отключение сверхбольших токов короткого замыкания, возникающих из-за непосредственной близости к генератору и мощному повышающему трансформатору. Из особо сложных выделяют два типа аварийных режимов работы генераторного выключателя: замыкание со стороны генератора и замыкание со стороны повышающего трансформатора. Широко распространенные элегазовые генераторные выключатели производства ABB и Alstom Grid в настоящий момент имеют не более двух гарантированных операций отключения токов короткого замыкания [1]. Такое малое количество операций отключения возникает из-за сверхбольших токов короткого замыкания при этом энергия, выделяемая в дуге, несёт колоссальное разрушительное действие на электроды выключателя и на все поверхности расположенные рядом с зоной горения дуги.

Для того чтобы снизить негативное воздействие дуги, можно применить синхронизированное отключение выключателя, при котором время горения дуги можно снизить до нескольких миллисекунд, а энергию, выделяемую в межконтактном промежутке, уменьшить в десятки раз [2].

Данная работа посвящена исследованию эффективности синхронизированного отключения генераторного выключателя для обеспечения более мягких режимов работы и повышения его коммутационного ресурса.

Полученные результаты исследований показывают, насколько можно снизить термическое воздействие тока короткого замыкания, при коммутации выключателя в условии короткого замыкания, как со стороны генератора, так и со стороны повышающего трансформатора.

### **Литература**

1. **Адоньев Н.М., Афанасьев В.В., Локш А.И.** Генераторные выключатели и аппаратные комплексы высокого напряжения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.
2. **Клепарская Л.Г.** Синхронизированные выключатели. М.: Энергия, 1973.

А.Е. Чичков, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЯМИ В УМНЫХ СЕТЯХ

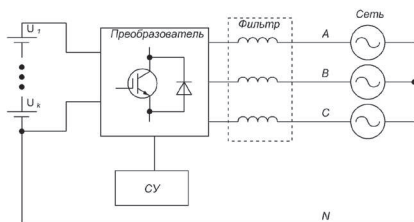


Рис. 1. Сетевой регулятор

регуляторы с источниками на основе фотоэлектрических преобразователей и аккумуляторных батарей (АБ) на стороне постоянного тока. На рис.1 показана структурная схема сетевого регулятора. Преобразование постоянного напряжения АБ в переменное осуществляется инвертором. Отдельные АБ имеют недостаточное напряжение для работы сетевого регулятора во всех режимах, поэтому их необходимо подключать последовательно, либо использовать другие схемы преобразователей. В ходе анализа литературы в качестве преобразователя сетевого регулятора было выбрано наиболее выгодное решение — инвертор на H-мостах (рис. 2) [2]. Такой преобразователь обеспечивает лучший гармонический состав тока без использования широтно-импульсной модуляции. При этом требуемое значение напряжения достигается за счет увеличения количества H-мостов.

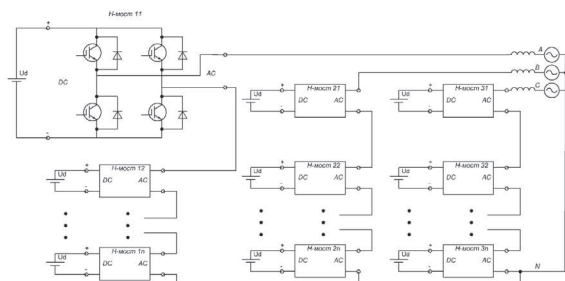


Рис. 2. Модель N-мостового инвертора

Для повышения качества и снижения стоимости электроэнергии необходимо регулировать активную и реактивную мощности. В настоящее время активно развиваются и внедряются умные сети, которые позволяют правильно и автоматизировано распределять электроэнергию [1].

Для регулирования мощности в умных сетях можно использовать сетевые регуляторы с источниками на основе фотоэлектрических преобразователей и аккумуляторных батарей (АБ) на стороне постоянного тока.

Разработаны имитационные модели такого регулятора. Результаты расчета разработанных моделей показали преимущества и перспективы использования N-мостовых инверторов в качестве преобразователя сетевого регулятора умной сети.

### Литература

1. Савина Н.В., Бордуг Н.С. Проблемы нормирования качества электроэнергии при переходе на интеллектуальные электроэнергетические системы. УДК 621.311 Проблемы энергетики, 2016, № 5–6.
2. М.А. Таранов, П.Т.Корчагин, П.В. Гуляев. Анализ работы N-мостового каскадного инвертора. УДК 621.314.26.

И.И. Жуков., студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Множество электротехнических устройств работают от постоянного напряжения. Для его получения применяют однофазные и трехфазные выпрямители. Трёхфазные мощные выпрямители используются в электровозах, городском электротранспорте (трамвай, троллейбус, метро), в промышленных установках для электролиза. Другими применениями трехфазных выпрямителей являются промышленные системы очистки газовых смесей, буровое и сварочное оборудование. Одними из важных характеристик выпрямителя являются КПД, уровень пульсаций выходного напряжения, качество потребляемого тока [1]. В мощных выпрямителях качество тока является важной характеристикой, так как обменные (неактивные) токи, такие как токи высших гармоник и реактивные токи приводят к ухудшению качества напряжения. Качество напряжения оказывает значительное влияние на качество выходного напряжения выпрямителя.

В программном комплексе Matlab разработаны модели трехфазного диодного и тиристорного выпрямителей, трехфазного тиристорного и диодного выпрямителя с подключенным параллельным активным фильтром, трехфазного активного выпрямителя. В результате расчета моделей получены характеристики коэффициента искажения потребляемого тока от мощности выпрямителя (рис. 1). Диодный и тиристорный выпрямители оказывают значительные искажения потребляемого тока. При подключении активного фильтра к таким выпрямителям качество тока значительно улучшается. Однако наиболее перспективным выпрямителем является активный транзисторный выпрямитель, который не оказывает значительного влияния на качество потребляемого тока и удерживает его на уровне 3% [2].

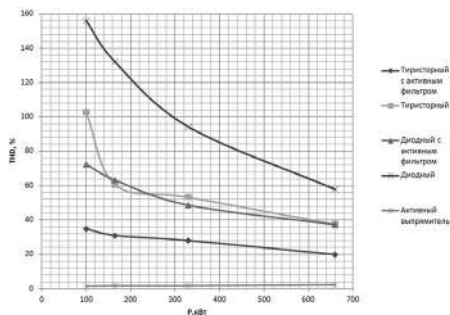


Рис. 1. Зависимость ТНД подаваемого тока выпрямителя от мощности для пяти схем

### Литература

1. T. Friedli, M. Hartmann, J.W. Kolar. "The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems — Part II" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 29, No. 2, pp. 543–560, February 2014.
2. Vaclav Kus, Tereza Josefova. "The use of voltage-source active rectifier to minimize the effect of supply voltage drops on converters" National Research Univ Moscow Power Eng Inst. Downloaded on April 26, 2022 at 10:46:39 UTC from IEEE Xplore.

*Т.А. Золотарев, студ.;*  
*рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ**

Разработки и исследования электрических машин со сверхпроводящими обмотками позволяют открывать для них новые сферы применения в энергетике, в частности в области кинетических накопителей энергии. Данные устройства эффективны в первую очередь благодаря своим высоким удельным характеристикам, многократно превышающим характеристики обычных электрических машин с медными обмотками. Применение высокотемпературных сверхпроводящих материалов позволяет с одной стороны сократить электрические потери в обмотках, а с другой стороны увеличить токовую нагрузку.

Одним из типов электрических машин, в которых используют не обычные медные, а ВТСП обмотки возбуждения (ОВ), является индукторная машина [1]. Индукторными называют синхронные машины, в которых обмотка якоря и обмотка возбуждения неподвижны, а ротор представляет собой цилиндрический магнитопровод с равномерно распределёнными по его поверхности выступами — зубцами. Неподвижное исполнение ОВ в индукторных машинах обладает рядом преимуществ по сравнению с синхронными машинами с ОВ на роторе при использовании ВТСП материала: нет необходимости в специальной бесконтактной системе возбуждения для ОВ; на ВТСП обмотку, систему теплоизоляции и криостат не действуют центробежные силы, что упрощает конструкцию и делает ее более надежной; более простая неподвижная система охлаждения сверхпроводника.

В докладе представлены результаты исследования характеристик индукторной машины с ВТСП обмоткой возбуждения. Проведено моделирование двух топологий магнитной системы — с радиальным и осевым магнитным потоком. Рассчитаны характеристики ЭДС ХХ и электромагнитного момента, на основе которых выполнено сопоставление конструкций и сделаны выводы об их эффективности.

### **Литература**

1. **Swarn Kalsi, Kent Hamilton, Robert George Buckley and Rodney Alan Badcock**, “Superconducting AC Homopolar Machines for High-Speed Applications”, Applications. Energies 2019, 12, 86.

*И.П. Шорсткин, асп.;*  
*рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ СТАТКОМ К АСИНХРОННОМУ ГЕНЕРАТОРУ**

С развитием возобновляемых источников энергии появился спрос на асинхронные генераторы (АГ). Асинхронные генераторы благодаря своей дешевизне и высокой надежности нашли свое применение в гидроэлектростанциях малой мощности и ветроэнергетических установках для питания автономной нагрузки мощностью до 110 кВт. Основным недостатком использования АГ в качестве автономного источника питания является необходимость применения источников реактивной мощности для поддержания магнитного поля. Традиционно эта проблема решается посредством подключения блока конденсаторов к выводным клеммам асинхронного генератора. Недостатком такого подхода является отсутствие плавного регулирования реактивной мощности, а также необходимость использования конденсаторов по мощности превышающих мощность асинхронного генератора.

С развитием силовой электроники появились новые подходы к регулированию реактивной мощности. Одним из таких подходов является применение статического компенсатора реактивной мощности (СТАТКОМ), позволяющего плавно регулировать реактивную мощность в зависимости от величины нагрузки АГ.

Одной из важных частей системы управления преобразователя СТАТКОМ является блок синхронизации с напряжением на клеммах асинхронного генератора. Основной проблемой при синхронизации к асинхронному генератору является зависимость частоты выходного напряжения от величины нагрузки.

В системе управления СТАТКОМ для синхронизации используется блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Существуют различные методы реализации ФАПЧ [1]. Целью работы является сравнение стандартного и модернизированных методов синхронизации СТАТКОМ к асинхронному генератору при изменении частоты и несимметрии выходного напряжения.

По результатам моделирования установлено, что модифицированные методы синхронизации лучше отслеживают частоту и фазу выходного напряжения АГ в случае возникновения несимметрии напряжения.

### **Литература**

1. **F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre and A.V. Timbus**, "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, no. 5, pp. 1398–1409, Oct. 2006.

*Н.С. Родькин, асп.;*

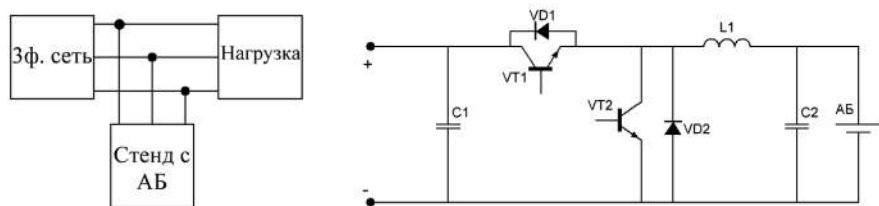
*рук. К.В. Крюков, ст. преп., М.Г. Киселев, зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ДВУНАПРАВЛЕННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ЧЕТЫРЕХКВАДРАНТНОГО РЕГУЛЯТОРА**

Развитие зеленой энергетики связано с сильным увеличением спроса в потреблении электроэнергии потребителями, как коммерческими, так и гражданскими. Производство энергии с использованием традиционных методов, таких как нефть и газ, не является актуальным, поскольку они являются основной причиной загрязнения окружающей среды и глобального потепления. Для решения этих проблем повсеместно выбираются и изучаются способы производства энергии с использованием гибридных возобновляемых источников энергии.

Однако возобновляемые источники энергии имеют ряд недостатков, например, фотоэлектрические системы зависят от освещенности в течение дня и температуры окружающей среды, ветровая генерация зависит от наличия и скорости ветра, а топливные элементы дороги и не так распространены [1].

В ходе работы был проведен обзор схмотехнических решений двунаправленных преобразователей для водородных топливных элементов, обзор методов их управления и разработан экспериментальный стенд с DC-DC преобразователем для четырехквadrантного регулятора и АБ (рисунок 1).



**Рис. 1.** Топология стенда и преобразователя

По итогу работы разработаны математические модели и экспериментальный образец преобразователя. Проведено исследование преобразователя в двух режимах работы стенда:

1. Трехфазная сеть свободную мощность направляет на выпрямитель и заряжает аккумулятор через преобразователь.
2. Трехфазной сети не хватает мощности, и инвертор использует аккумулятор для компенсации дефицита мощности. Преобразователь поддерживает постоянное напряжение для инвертора.

### **Литература**

1. Farhan Mumtaz, Nor Zaihar Yahaya, Sheikh Tanzim Meraj, Balbir Singh, Ramani Kannan, Oladimeji Ibrahim, «Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications» Ain Shams Engineering Journal, Volume 12, Issue 4, 2021, Pages 3747–3763.



*Р.Г. Апальков, асп.;*  
*рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Нелинейные и несимметричные нагрузки промышленных предприятий негативно влияют на качество электроэнергии в распределительных сетях. Для увеличения надёжности электроснабжения применяются устройства, позволяющие увеличить пропускную способность линии электропередачи и снизить потери, а также гарантировать стабильную работу электроприемников. К таким устройствам относятся статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ) и активные фильтры [1].

В системах управления таких устройств наиболее широко используются алгоритмы, основанные на преобразовании Парка-Горева. Недостатком такого метода являются низкая динамика вычисления напряжения задания, связанная с применением ПИ-регуляторов в обратной связи, а также необходимость расчета коэффициентов ПИ-регулятора.

Применение нечеткой логики в алгоритмах управления является перспективной системой управления (рис. 1), позволяющая повысить надежность работы системы управления. Также такая система управления способна работать с неточными входными данными [2].

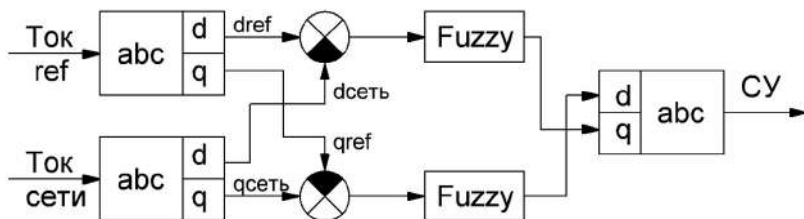


Рис. 1. Алгоритм управления с нечеткой логикой

Разработана имитационная модель в программной среде MATLAB/SIMULINK и проведен ее расчет. Полученные результаты показали, что СТАТКОМ обеспечивает обмен реактивной мощности и имеет ток с низким уровнем гармонических искажений.

### Литература

1. Ayala-Chauvin M., Kavrakov B.S., Buele J., Varela-Aldas J. Static Reactive Power Compensator Design, Based on Three-Phase Voltage Converter // Energies. — 2021. — Т. 14. — №. 8. — С. 2198.
2. Suliman M.Y. Voltage profile enhancement in distribution network using static synchronous compensator STATCOM // International Journal of Electrical and Computer Engineering. — 2020. — Т. 10. — №. 4. — С. 3367.

*В.А. Холин, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА «УМНЫЙ ДОМ»**

В современном мире автоматизация занимает неотъемлемую часть деятельности человека. Промышленные революции создают инновации, которые позволяют сделать повседневную жизнь проще, удобнее и безопаснее. Помимо всего прочего, автоматизация различных процессов позволяет контролировать потребление электроэнергии, что способствует экономии и рациональному использованию электричества.

Система умного дома коммуницирует по различным протоколам. Например, KNX, HDL, Wi-Fi, ZigBee. Существует проводные и беспроводные системы. На первый взгляд различие между технологиями заключается лишь в способе связи между устройствами, но на самом деле все обстоит несколько иначе. Проводные системы на данный момент считаются наиболее скоростными и надежными, дают практически неограниченные возможности расширения, и их широкий функционал позволяет создать систему «под себя». Но есть у проводных систем свой существенный недостаток: возникает необходимость в прокладке кабельной сети слабого тока, а также увеличение количества кабелей. У беспроводной системы относительная простота установка. Беспроводная система проста в настройке и дешевле проводной системы. Но и у нее есть недостатки: существенные ограничения в функциональности, в основном все оборудование работает на автономных источниках питания, на качество связи с оборудованием могут негативно влиять различные внешние факторы.

Целью работы является изучение аппаратуры, предназначенной для применения в системах умного дома. В каталогах фирмы EKF имеются устройства, которые управляются за счет подключения к беспроводной сети Wi-Fi с помощью мобильного приложения EKFFHomeConnect. Компания EKF разработала контроллер ePro24, который позволяет осуществлять удаленное управление и мониторинг электрических систем. Данный контроллер используется как для управлением нагрузками, так и для контроля напряжения на защитной аппаратуре. Принцип работы заключается в том, что накопленные данные контроллер отправляет на сервер с помощью Wi-Fi/2G, а сервер загружает их в личный кабинет.

В ходе выполнения работы будет разработан стенд «умного дома» на основе оборудования фирмы EKF для дальнейшего исследования по различным аспектам, такие как энергосбережение, экономичность, удобство эксплуатации.

*И.В. Кириллов, асп.; рук. П.А. Дергачёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Сегодня существует множество способов гашения электрической дуги. Но не существует такого способа, который мог бы гасить её исключительно магнитным полем. В настоящей работе, рассматривается поведение заряженных частиц в однородном и комбинированном постоянном магнитном поле. В качестве источников такого поля выступают постоянные магниты из неодимовых сплавов.

В случае постоянного магнитного поля используется лишь только один постоянный магнит. В случае комбинированного постоянного магнитного поля используются множества постоянных магнитов (магнитные матрицы), которые формируют магнитные рисунки. Под магнитным рисунком понимается предполагаемая форма электрической дуги, которая подвержена воздействию магнитной матрицы [1]. Последняя изгибается под действием постоянного комбинированного магнитного поля в соответствии с конфигурацией магнитной матрицы.

В первом приближении, электрическая дуга есть поток заряженных частиц, как и в случае с электрическим током. Однако, столб электрической дуги формируется не только электронами, но и ионами [2]. Более ста лет назад Михаил Осипович Доливо-Добровольский доказал, что электрическая дуга подвержена влиянию магнитного поля. Так, миру явилась деионная решётка для гашения электрической дуги и её магнитное дутьё.

Настоящая публикация предполагает исследование поведения заряженных частиц в постоянном магнитном поле посредством компьютерного моделирования на основе существующих физических моделей и на основе предлагаемых автором физических моделей, которые заданы посредством программного кода, составленного на основе определённой совокупности физических и математических уравнений, описывающих поведение заряженных частиц в постоянном магнитном поле и постоянном комбинированном магнитном поле.

### **Литература**

1. **Кенро Миямото.** Основы физики плазмы и управляемого синтеза. Перевод с английского под общей редакцией академика В.Д. Шафранова. М.: Физматлит, 2007 год, 424 стр.
2. Физика газового разряда. Научное издание / Райзер Ю.П. — 3-е изд. перераб. и доп. — Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009 — 736 с. ISBN 978-5-91559-019-8

*И. Рахманов, асп.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ ТЕРМИНА «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК»**

Четвертая промышленная революция Industry 4.0, определила дальнейшие пути развития промышленности. Основная идея концепции предполагает использования компьютеров для сбора, обработки, анализа и хранения данных. Отлично с данной задачей справляется технология цифровой двойник. На сегодняшний день термин цифровой двойник, как технология, вбиравшая в себя технологии с 1960-х годов по сегодняшний день, не имеет четкого определения.

Впервые термин был озвучен в 2003 году на конференции в Мичиганском университете, однако концепция работы была предложена ранее в 2002 году. Авторами предполагалось что цифровой двойник сможет помочь оптимизировать затраты на испытания, предугадывать поломки и места их локализации. Основоположник термина дает следующие определения: Цифровой двойник-прототип (DTP) — этот тип цифрового двойника описывает реальный объект, прототипом которого он является. Цифровой двойник прототип содержит всю необходимую информацию необходимую для описания и создания физической версии объекта, но не ограничивается этим. Эта информация представляет собой подробную трехмерную или двумерную модель, спецификацию, требования к материалам, закупке, логистике. Данный тип цифрового двойника применяется на всех производственных циклах, однако он не связан с физическим объектом, и поэтому может применяться только при испытаниях. Цифровой двойник экземпляр (DTI) — тип цифрового двойника описывает определенный физический объект и остается с ним связан на протяжении всего жизненного цикла. В зависимости от требований может содержать: 3D модель, описание компонентов объекта, техническая документация, все операции, производимые над объектом, результаты измерений, рабочее состояние, записанное с датчиков.

### **Литература**

1. **Grievess, M.** (2017). Digital Twin: Mitigating Upredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex System. New York: McGraw-Hill.
2. **Боровков А.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт: УДК 339.97 Москва 2020 г.

*В.В. Борькин, студ.;*  
*рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРНЫХ СБОРОК В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ**

Аккумулятор — это многоразовый источник энергии, который нашёл широкое применение в сфере бытовой техники, электроники и транспорта. Так же применение аккумуляторных батарей (АКБ) позволяет усовершенствовать некоторые схемы силовой электроники, например источники бесперебойного питания (ИБП) на высоком напряжении.

Во время долгой эксплуатации аккумуляторных батарей можно заметить, что их параметры начинают ухудшаться. Это может быть вызвано превышением максимума циклов заряда — разряда, механическим повреждением и многими другими факторами, но самый распространённый из них — это нарушение температурного режима АКБ. Колебания в температуре существенно влияют на электрохимические реакции, протекающие в батареях. На низких температурах электрохимические реакции замедляются, что приводит к увеличению внутреннего сопротивления аккумуляторов и снижению тока в сети [1–2]. На высоких температурах электрохимические реакции ускоряются, что приводит к ускорению процесса саморазряда. Все эти проблемы на данный момент решаются различными способами поддержания температуры. Примерами таких систем могут служить радиаторные решетки, нагреватели, трубчатое водяное охлаждение и кулеры.

В работе проводится моделирование в программном обеспечении COMSOL Multiphysics аккумуляторных сборок в различных режимах работы и анализ систем поддержания температуры. Моделирование проводится с целью выяснить, какие системы на данный момент являются наиболее экономичными и имеют возможность поддерживать температуру системы при различных её отклонениях.

### **Литература**

1. **Malgorzata K. Gulbinska** Lithiub-ion Battery Materials and Engineering Springer, London, 2014 — ISBN 978-1-4471-7184-3.
2. **Nobuyuki Imanishi** The Lithium Aur Battery / **Alan C. Luntz, Peter Bruce** — Springer Science + Business Media New York 2014 — ISBN 978-1-4899-8061-8.

*И.Р. Мищенко, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Нелинейная нагрузка является основной причиной искажений токов и напряжений. Потребление из сети несинусоидального тока приводит к появлению дополнительной неактивной мощности. В то же время многие потребители крайне чувствительны к качеству напряжения. В связи с этим улучшение качества электроэнергии является актуальной задачей, которая эффективно решается посредством силовых электронных устройств на основе транзисторных преобразователей — активных фильтров (АФ) [1].

Регулятор качества электроэнергии (РКЭ) представляет собой универсальное устройство фильтрации гармоник и регулирования напряжения и состоит из параллельного и последовательного активных фильтров АФ (рис. 1).

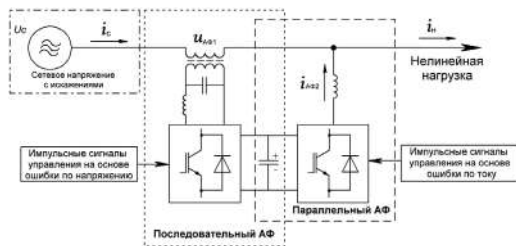


Рис. 1. Схема подключения РКЭ

Преобразователь последовательного АФ имеет на выходе LC-фильтр и подключается к системе сеть-нагрузка с помощью трансформатора. Параллельное подключение второго преобразователя осуществляется через фильтрующий дроссель. Общий конденсатор на стороне постоянного тока преобразователей служит источником постоянного напряжения, обеспечивающим реализацию требуемых функций: параллельный АФ компенсирует неактивную составляющую тока, создаваемую реактивной, нелинейной и/или несимметричной нагрузкой; последовательный преобразователь регулирует уровень основной гармоники и устраняет искажения напряжения.

Работа посвящена реализации алгоритмов управления на базе ШИМ и гистерезисного регулирования, обеспечивающих функции повышения качества электроэнергии. Для анализа совместной работы преобразователей разработана компьютерная модель, которая позволяет исследовать характеристики устройства в различных режимах и влияние на них параметров элементов силовой части и используемых алгоритмов.

### Литература

1. Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А Кваснюк. Силовая электроника: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007 г.

*А.В. Ходина, студ.;  
рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ПО ВНЕШНЕМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ**

Электрическая машина — это электромеханическое устройство, которое предназначено для преобразования механической энергии в электрическую энергию или наоборот в зависимости от режима работы электрической машины. В ходе эксплуатации электрических машин могут возникнуть различные виды механических и электромагнитных повреждений такие, как вибрации, частичное отключение одной фазы, повреждение обмотки возбуждения и так далее. Современные системы мониторинга и диагностики состояния электрооборудования, в том числе электрических машин, базируются на использование машинного обучения, позволяющее оценивать реальное состояние объекта на основе данных с датчиков.

Во время работы электрические машины создают внешнее электромагнитное поле, благодаря анализу которого можно обнаруживать возникновение электромагнитных повреждений электрической машины. Существуют различные методы анализа внешнего электромагнитного поля, например: анализ несимметрий внешнего электромагнитного поля [1], анализ амплитудных значений основной и высокочастотных гармоник индукции магнитного поля [2].

В данной работе планируется разработка система оценки состояния электрической машины на основе данных электромагнитного анализа с использованием методов машинного обучения. Для этого цели на текущем этапе будет проведен анализ научных источников по методам контроля электрических машин по внешнему электромагнитному полю, выбрана методика оценки состояния электромагнитных параметров и определены возможные алгоритмы обучения нейронных сетей.

### **Литература**

1. **А.Н. Морозов, Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, С.А. Нестеров.** “Идентификация по внешнему магнитному полю внутренних электромагнитных дефектов неявнополюсных синхронных генераторов”, 2022.
2. **А.В. Епремяя, С.В. Семергей, Н.В. Руденко, Н.К. Колесников, А.М. Оробинский, Р.И. Лесниченко, М.В. Вербов, Д.А. Егоров, М.А. Бондаренко.** “Устройство контроля витковых замыканий в обмотке якоря и индуктора синхронной машины”, 2000.

*А.К. Силуянов, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Перспективным направлением развития ветроэнергетики является разработка синхронных генераторов с постоянными магнитами. В настоящее время актуальным вопросом остается увеличение КПД преобразования энергии ветра в электрическую, что напрямую связано с повышением параметров электрических генераторов. Широко развивается применение прямого привода, исключая применение механических редукторов, однако накладывающее дополнительные требования к конструкции и параметрам ветрогенератора.

В докладе рассматривается конструкция магнитной системы ветрогенератора мощностью 3,6 МВт со скоростью вращения 12 об/мин [1], изображенная на рис.1. Уникальность данной магнитной системы является использование многофазной (11 фаз) обмотки.

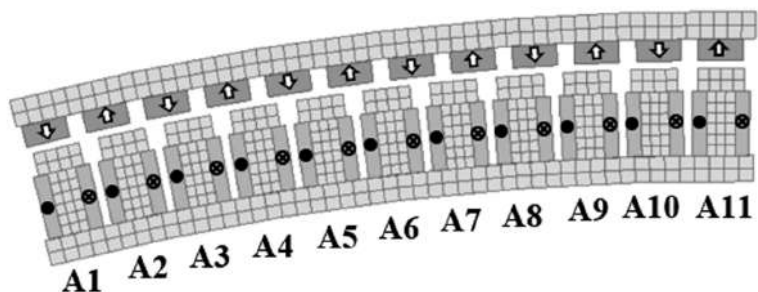


Рис. 1. Магнитная система ветрогенератора

Данная конструкция выделяется своими достоинствами: обладает возможностью управления разнообразными режимами работы, в том числе с разным числом пар полюсов, раздельное управление амплитудой и частотой, и высокая способность компенсировать различные паразитные эффекты. Немаловажным эффектом применения многофазных обмоток является уменьшение индуктивности фаз, что является проблемой в ветрогенераторах большой мощности.

В данной работе было проведено моделирование магнитной системы синхронного генератора и проведен анализ статических характеристик с помощью программного комплекса EasyMAG3D.

### Литература

1. **A. Babl, G. Dajaku, D. Gerling**, "Two New Rotor Designs with Reduced Amount of Rare-Earth Magnet Material for a Permanent Magnet Wind Generator for a 4MW Application," 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), 2020, pp. 1944–1949.



А.Ю. Верстунин, асп; Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В КОНТАКТОРАХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Контакты предназначены коммутировать номинальные токи и токи рабочих перегрузок (так называемые токи режимов редких коммутаций). Контакты, в частности, контактно-дугогасительные системы, должны отвечать требованиям ГОСТ/IEC в части номинального условного тока короткого замыкания, в части включающей и отключающей способности и др.

Математические модели электрической дуги нацелены на моделирование поведения электрической дуги, при коммутации контактов, при тех или иных параметрах системы [1]. Т.е., математические модели электрической дуги позволяют оценить поведение и стабильность системы и при необходимости скорректировать материальные параметры, для обеспечения соответствия требованиям ГОСТ/IEC, без производства опытного образца и проведения типовых испытаний, что значительно сокращает производственные издержки.

В данной работе описывается математическая модель электрической дуги, возникающая при коммутации контактов, при атмосферном давлении в воздушной среде. На рисунке 1.а показано распределение температуры по сечению столба дуги в 2D постановке. На рисунке 1.б показано распределение температуры по сечению столба дуги в 3D постановке.

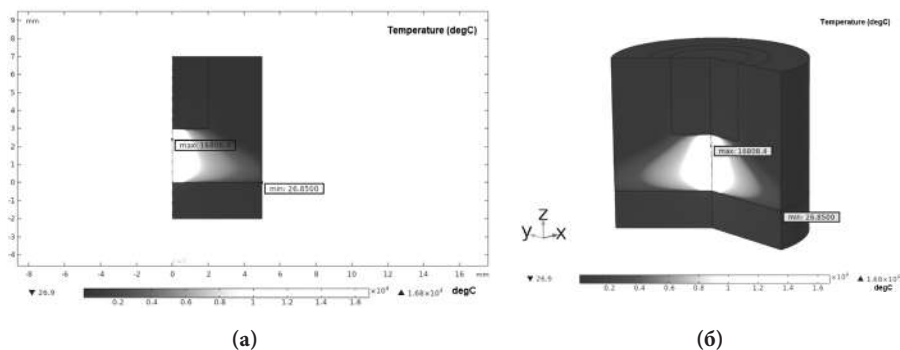


Рис. 1. (а) Распределение температуры по сечению столба дуги в 2D постановке;  
(б) Распределение температуры по сечению столба дуги в 3D постановке.

### Литература

1. А.А. Воронин, П.А. Кулаков. Математическая модель электрической дуги Самара: Вестник самарского государственного технического университета, 2012.

*В.Н. Круглов, асп.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

Электромашинные компенсаторы применяются в электрических сетях для ликвидации дефицита реактивной мощности и регулирования напряжения в сети. Они способны генерировать и потреблять реактивную мощность в широком диапазоне, а также обладают высокой перегрузочной способностью, позволяющей обеспечить устойчивость прилегающей энергосистемы при авариях.

Электромашинный компенсатор представляет собой комплекс, состоящий из собственно электрической машины переменного тока, системы возбуждения и системы автоматического управления защиты и сигнализации с автоматическим регулятором возбуждения.

Электромашинный компенсатор отличается от традиционного синхронного компенсатора наличием на роторе двух обмоток возбуждения, сдвинутых относительно друг друга по окружности ротора в пределах полюсного деления. Наличие на роторе электромашинного компенсатора второй обмотки позволяет возбуждать компенсатор не только по продольной оси, как в синхронной машине, но и по поперечной оси [1]. Это придает электромашинному компенсатору качественно новые свойства в сравнении с синхронными компенсаторами — расширяются области статической и динамической устойчивости компенсатора и энергосистемы, в составе которой работает электромашинный компенсатор, в целом.

В данной работе проводится анализ электромашинного компенсатора в сравнении с синхронным компенсатором и статическим генератором реактивной мощности. А так же рассмотрен вариант использования электромеханического компенсатора в блочно-модульном исполнении для получения универсального устройства, не требующего обслуживания и способного работать как на стороне потребителя, так и на стороне генерации электроэнергии.

### **Литература**

1. **Y. Shakaryan, P. Sokur, N. Pinchuk.** “Experience in the creation and application of asynchronous generators and compensators in the Russian Federation” in Proc 12th Int. Conf. on WETC — Electrical engineering, 2012.

*В.А. Шишенин, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕГУЛЯТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ПУЛЬСАЦИЙ ВХОДНОГО ТОКА**

С ростом потребления энергии в современном мире люди начинают всё чаще использовать возобновляемые источники энергии. Одним из таких является энергия солнца. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) — эффективный и экологичный источник электрической энергии, интерес к которому привел к необходимости решения задач эффективного использования модулей.

При согласовании модулей ФЭП и нагрузки важно стараться уменьшить пульсацию тока в модуле, так как высокий коэффициент пульсаций тока приводит к существенному снижению КПД фотоэлектрического преобразователя.

С ростом цифровых технологий происходят изменения в способах контроля и управления регуляторами. В настоящее время цифровые системы управления способны соответствовать или даже превосходить современные аналоговые решения с точки зрения динамических характеристик, энергопотребления и стоимости [1]. Внедрение цифровых ШИМ-контроллеров позволяет сократить количество пассивных элементов в схеме, снизить чувствительность системы к изменениям технологического процесса и температуры, обеспечить цифровой системный интерфейс, а также программируемость и гибкость системы.

Решением проблемы эффективного согласования модуля ФЭП и нагрузки в работе было выбрано использование регулятора Луо [2] с использованием входного фильтра с магнитосвязанными дросселями. Такой вариант регулятора постоянного тока позволяет получить очень высокий коэффициент повышения напряжения и при этом практически полностью исключить пульсации тока на входе регулятора [3]. При этом регулятор подключается к цифровой системе управления. Это позволяет сделать систему настраиваемой, а регулятор более универсальным.

### **Литература**

1. **L. Corradini, D. Maksimovic, P. Mattavelli, R. Zane.** Digital Control of High-Frequency Switched-Mode Power Converters /— Wiley-IEEE Press, July 2015
2. **F.L. Luo. H. Ye.** Positive output super-lift converters // IEEE Transactions on Power Electronics, 2003, Vol. 18, No. 1, p. 105–113.
3. Двухкаскадный преобразователь постоянного в постоянный // Патент РФ на полезную модель № 124855, 10.02.2013

И.С. Соин, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

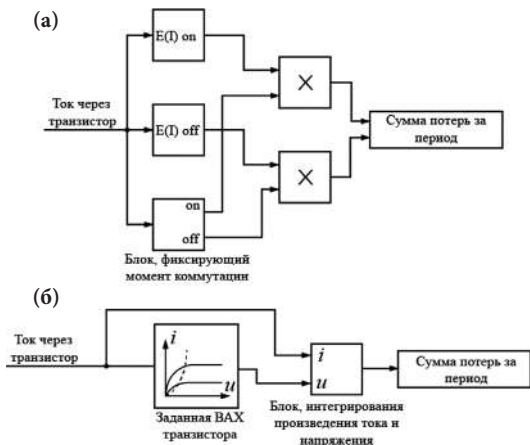


Рис. 1. Алгоритмы расчета — (а) коммутационных потерь, (б) статических потерь

ле в различных режимах работы.

Для оценки потерь мощности в преобразователе регулятора предлагается модель в программе SimInTech для вычисления потерь на основе токов регулятора, полученных в результате предварительного расчета модели регулятора в одном из режимов [2]. В модели для оценки потерь мощности используются характеристики ключа из технической документации выбранного транзистора. По полученным значениям потерь также оценивается температура кристалла. На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма оценки потерь мощности. Потери в преобразователе делятся на два вида: статические потери и коммутационные (динамические) потери.

### Литература

1. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие / У 677 И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2017, — 347 с.: ил.
2. Розанов, Ю.К., Воронин, П.А., Рывкин, С.Е., & Чаплыгин, Е.Е. (2014). Справочник по силовой электронике. М.: Издательский дом МЭИ.

Перспективными установками для повышения качества электроэнергии являются сетевые регуляторы, которые регулируют потоки неактивной мощности, способны работать как активный выпрямитель с потреблением синусоидального тока, а также способны передавать активную мощность в сеть в случае наличия источника на стороне постоянного тока [1]. Важным вопросом при выборе полупроводниковых ключей и частоты их коммутации является оценка потерь мощности в полупроводниковом преобразователе

Г.И. Мельник, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОУРОВНЕВЫХ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Использование силовых электронных устройств компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения является актуальным направлением электроэнергетики. Основой таких устройств является транзисторный преобразователь напряжения с управлением методом широтно-импульсной модуляции или с гистерезисным регулированием [1]. Использование высокочастотного импульсного управления приводит к значительным коммутационным потерям. Поэтому в системах среднего напряжения и/или большой мощности частота переключения транзисторов должна быть как можно ниже. Также требуется обеспечить безопасный уровень напряжения на полупроводниковых ключах преобразователя. В этих случаях реализация компенсаторов реактивной мощности на основе трехфазного мостового преобразователя является неоптимальным решением либо вовсе невозможна, целесообразно применять многоуровневые преобразователи.

В работе рассматриваются два основных типа многоуровневых преобразователей — схемы с диодной блокировкой и с плавающими конденсаторами (Рис. 1) [2]. Многоуровневые преобразователи формируют напряжение ступенчатой формы, содержащее модуляционные гармоники более высокой частоты по сравнению с классической мостовой схемой, что позволяет понизить частоту модуляции, не увеличивая при этом уровень гармонических искажений. Помимо этого, в многоуровневых схемах обеспечивается кратное уменьшение напряжения на транзисторах. Однако большее количество полупроводниковых элементов приводит к росту суммарных потерь в преобразователе.

Для анализа работы рассматриваемых устройств созданы компьютерные модели, позволяющие рассчитывать потери в преобразователях при различных методах управления и параметрах элементов.

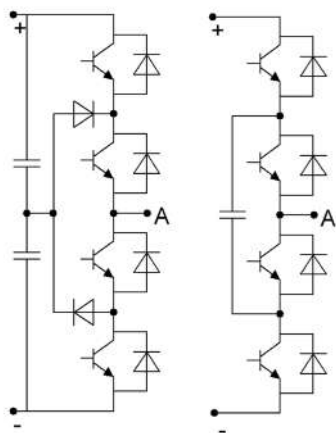


Рис. 1. Схема плеча трехуровневого преобразователя: с диодной блокировкой и с плавающими конденсаторами

### Литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника. — М.: Изд. МЭИ, 2018.
2. Muhammad H. Rashid, Ph.D. Power electronics handbook devices, circuits, and applications. 2 изд. U.S.A: Copyright, 2011.

*И. Саригло, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА ДЛЯ ПОГРУЖНОЙ УСТАНОВКИ С ВИНТОВЫМ НАСОСОМ**

Нефтедобывающая промышленность является одной из важнейших составляющих мирового хозяйства, которая оказывает значительное влияние на развитие других отраслей промышленности и на мировую экономику в целом. Одним из наиболее значимых процессов в добыче нефти — выкачивание ее из скважин. Для этого используются погружные установки с винтовым насосом. На данный момент передача крутящего момента в винтовых насосах производится посредством механического редуктора, имеющего множество недостатков, таких как трение, вызывающее нагрев, невысокая надежность, необходимость в смазке и периодическом регламентном техобслуживании. Данная установка используется в основном для малодебитных скважин, погружается в нее на глубину в сотни метров. Это усложняет процесс ремонта в случае поломки.

Благодаря простоте и высококачественным техническим данным, альтернативой механической передачи стал магнитный редуктор. Наиболее распространённой топологией магнитных передач является коаксиальный магнитный редуктор, в котором зубчатое зацепление заменено постоянными магнитами, и вращение роторов происходит благодаря взаимодействию магнитных полей [1].

В работе произведена разработка и моделирование магнитного редуктора для погружного винтового насоса. Посредством произведённой оптимизации геометрических параметров модели, определённых из конструкционных соображений прочности и надёжности, создана трёхмерная модель эскиза устройства и его расположение в погружной установке винтового насоса [2]. При помощи моделирования стало ясно, что винтовой насос с магнитным редуктором обеспечивает стабильную выкачку нефти. Из сравнения механической и магнитной передач было выявлено, что характеристики насоса улучшаются. Кроме того, без зубчатого зацепления эффективность винтового насоса повышается с сокращением вибраций и затрат на техническое обслуживание.

### **Литература**

1. **K. Atallah and D. Howe.** A novel high-performance magnetic gear. IEEE Trans. on Magnetics — 2001. Vol. 37. No. 1 — pp. 2844–2846.
2. **Li Xiao-hai, Zhu Li, Zhao Ji-min, Jiang Shu-zhong.** “Research on Special Low-Speed, High-Torque Permanent Magnet Synchronous Motor for Screw Pump,” 2009 IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference.

А.А. Патеева, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ВЫХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

В современных системах электроснабжения актуальны такие проблемы, как искажение формы напряжения из-за потребления несинусоидальных токов и несимметрия токов и напряжений, связанная с несбалансированным распределением нагрузок. Следствием этих проблем является ухудшение соответствующих показателей качества электроэнергии, а наиболее эффективным средством их решения — использование силовых электронных регуляторов (активных фильтров высших гармоник, компенсаторов реактивной мощности) [1].

Подобные устройства улучшения качества электроэнергии реализуются на основе четырехквadrантных регуляторов, обеспечивающих независимое управление активной и реактивной мощностью [2]. Такие регуляторы содержат транзисторный преобразователь напряжения с выходным фильтром. Регулирование мощности осуществляется за счет формирования напряжения на выходе преобразователя, определяющего амплитуду и фазу тока в фильтрующем дросселе. Для создания требуемого напряжения используются широтно-импульсная модуляция. При этом высокочастотные модуляционные гармоники тока ослабляются фильтром. В работе рассматриваются две типовые структуры фильтров:  $L$  и  $LCL$ .

Для анализа работы устройства, обеспечивающего режимы потребления и генерирования активной и реактивной мощности, создана компьютерная модель регулятора, в которой реализован алгоритм работы системы управления. Выполнен расчет параметров элементов фильтров преобразователя и исследованы различные характеристики устройства, показана их зависимость от параметров элементов фильтров в различных режимах работы.

По результатам сравнительного анализа регулятора с  $L$ - и  $LCL$ -фильтром можно сделать вывод о предпочтительном использовании  $LCL$ -фильтра, который обеспечивает минимальный уровень модуляционных гармоник в токе регулятора. Это особенно важно в режиме генерирования реактивной мощности, поскольку в этом случае коэффициент гармонических искажений тока является максимальным.

### Литература

1. Подгурская И.Г, Ротачева А.Г, Наумов И.В. Управление качеством электроэнергии. Благовещенск: изд. АмГУ, 2015.
2. Розанов Ю.К, Рябчицкий М.В, Кваснюк А.А. Силовая электроника. М.: изд. МЭИ, 2009.

Д.Р. Еркналиев, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВРУ

Вводно-распределительное устройство (ВРУ) — это низковольтное комплектное устройство, устанавливаемое на вводе в электроустановку здания и обеспечивающее ввод, учет и распределение электроэнергии в электроустановке, а также управление и защиту подключенных к нему распределительных и конечных электрических цепей.

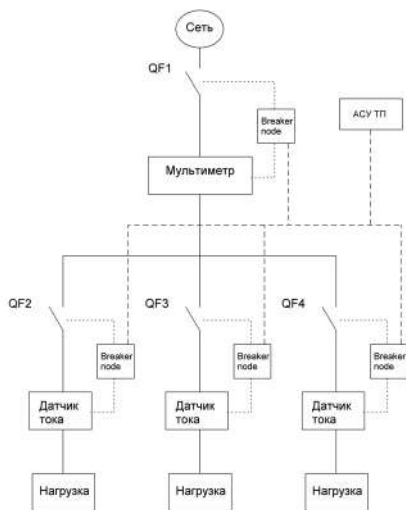


Рис. 1. Структурная схема

Цифровое распределительное устройство определяется как корпус для устройств переключения цепей, прерывания и управления, в котором информация о состоянии устройства, измерения тока и напряжения, а также команды надежно передаются по общей шине связи. При наличии оборудования, информация о контроле состояния и диагностике распределительного устройства и его устройств также доступна в цифровом виде для расширенного анализа [1].

В данной работе рассматривается цифровое вводно-распределенное устройство для лабораторного стенда. На данном этапе была построена структурная схема, подобраны автоматические выключатели и приборы измерения, разработана эскизная конструкторская документация на лабораторный стенд,

а также выбраны типы нагрузок для исследования в рамках лабораторной работы.

### Литература

1. **Harshavardhan Karandikar, Terry Neighbours, and Ron Pate.** “Digital Switchgear: The Next Phase in the Evolution of Safety by Design” 2021 IEEE Industry Applications Magazine.



*Е.Ю. Шелягин, студ.;*  
*рук. П.А. Дергачев, д.т.н., ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИЙ ГИДРОГЕНЕРАТОРА**

ГЭС вырабатывают около 20% установленной электрической мощности всей страны. Они относятся к возобновляемым и экологичным источникам энергии, их использование дает возможность сбрасывать и быстро набирать электрические нагрузки при пиковых режимах, что дает возможность энергосистеме быть более устойчивой [1]. Главной машиной, преобразующей механическую энергию потоков воды в электроэнергию, является гидрогенератор, одной из важных проблем работы которого является возникновение вибраций. Способом их контроля являются установка систем мониторинга вибраций гидрогенератора.

Вибрацией в гидрогенераторе принято считать сумму колебательных сигналов в результате работы всех элементов и узлов его механизма. Природа данных явлений малоизучена, но традиционно принято считать, что основными причинами их возникновения являются воздействия различных магнитных сил, а также турбулентность и кавитация водных потоков на узлы гидрогенератора. Сильная вибрация может вызвать потери полезной энергии, снижение КПД и вывод из строя самого агрегата или его частей. Узлами гидрогенератора, наиболее уязвимыми к воздействиям вибраций, являются нижний генераторный подшипник верхнего бьефа, верхний генераторный подшипник, вал гидротурбины, вал гидрогенератора и крышка гидротурбины [2]. Основная задача систем вибромониторинга — контроль вибрационных сигналов для последующего их сравнения с допустимыми граничными значениями работы гидроагрегата.

В работе будут рассмотрены несколько систем мониторинга вибраций гидрогенератора от компаний IRIS POWER и АО «ТСТ». В результате будет проведен их сравнительный анализ и анализ наиболее подверженных вибрации элементов для эффективного контроля рассматриваемых явлений.

### **Литература**

1. **А.И. Абрамов, А.В. Иванов** “Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов”: учебное пособие / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2001.
2. **О.Н. Герасимов, А.Ю. Доросинский** “Методика текущего предупредительного статистического контроля” // Труды Международного симпозиума Надежность и качество — 2017. Т. 1. — с. 30–32.

*Е.В. Конюшенко, асп.;*  
*рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ МУЛЬТИПЛИКАТОРОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕДАТОЧНЫМ ОТНОШЕНИЕМ**

Для получения электрической энергии используются невозобновляемые источники энергии, но их использование и отходы загрязняют окружающую среду, вследствие чего актуализировались вопросы создания электростанций на возобновляемых и экологически чистых источниках энергии. Большим потенциалом использования в России обладают ветровые и малые гидроэлектростанции, однако их развитие затруднено в связи с наличием ряда проблем, среди которых: невысокая надёжность, трение, вызывающее перегрев деталей, необходимость регламентного техобслуживания и т.п. [1].

Последнее время актуальным решением этих проблем признан магнитный мультипликатор, у которого отсутствуют вышеперечисленные недостатки механических аналогов [2]. В таком устройстве за счёт использования магнитных полей можно обеспечить регулируемое передаточное отношение. Существует множество топологий, но наиболее перспективными с точки зрения регулирования передаточного отношения является коаксиальная передача, на которую и направлено данное исследование.

В результате исследования разработана методика проектирования магнитного мультипликатора с регулируемым передаточным отношением, а также созданы универсальные математические модели, позволяющие эффективно проводить оптимизацию магнитной системы. Разработанные модели и методики впервые позволили получить данные о предельных технико-экономических характеристиках устройства. Результаты моделирования показали, что использование предложенных подходов позволяет снизить цену системы генерации электроэнергии на 30% по сравнению с системой прямого привода при сохранении высокого уровня надёжности.

### **Литература**

1. **K. Davey, T. Hutson, L. McDonald and G. Hutson.** “The design and construction of cycloidal magnetic gears” 2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), 2017, pp. 1–6.
2. **K. Li, J. Bird, J. Kadel and W. Williams** “A Flux-Focusing Cycloidal Magnetic Gearbox” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 51, no. 11, pp. 1–4, Nov. 2015.

*Е.А. Кущенко, асп.;*  
*рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО МОТОР/ГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ**

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) материалы вызывают большой интерес при проектировании электрических машин, обладающих высокими показателями эффективности. Опубликованные научные результаты показывают, что применение ВТСП в генераторах и двигателях для создания магнитного поля позволяет существенно уменьшить габаритные размеры и вес конструкции, а также сократить потери [1,2].

В работе исследуется индукторная конструкция мотор/генератора с ВТСП обмоткой возбуждения, предназначенная для работы в кинетическом накопителе энергии (КНЭ). Для анализа динамики работы разработанного мотор/генератора была построена комплексная модель в Matlab/Simulink, включающая в себя электрическую часть — мотор/генератор, и механическую часть — вращающийся маховик. Исследование проводилось для 3-х режимов работы КНЭ: разгон маховика (заряд), торможение (разряд) и режим холостого хода (хранение энергии).

В докладе представлены результаты оптимизации конструкции мотор/генератора в составе КНЭ с запасаемой энергией 80 кДж на основе численного анализа электромагнитного поля и механической прочности. Показаны результаты моделирования работы ВТСП мотор/генератора в режиме запаса, хранения и отдачи энергии при работе на автономную нагрузку. Представлено экономическое обоснование использования кинетического накопителя энергии с ВТСП мотор/генератором по сравнению с традиционными аккумуляторными батареями.

### **Литература**

1. **S. Kalsi, K. Hamilton, R. Buckley, R. Badcock.** “Hamilton, R. Buckley, R. Badcock, “Superconducting AC Homopolar Machines for High-Speed Applications, “ Energies, vol. 12 (1), 86, December 2018.
2. **Karashima, T., Nakamura, T., Ikeda, K., Amemiya, N., Yoshikawa, M., Itoh, Y., Ohashi, Y.** “Experimental and Analytical Studies on Highly Efficient Regenerative Characteristics of a 20-kW Class HTS Induction/Synchronous Motor”. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 27(4), 2017.

*М.В. Петров, студ.;  
рук-ли О.В. Стрекаловский, к.т.н., доц.  
(«Университет «Дубна» г. Дубна);  
Д.Н. Никифоров, к.т.н., нач. отдела НЭОСМТ (ОИЯИ г. Дубна)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ «УНИВЕРСАЛЬНЫХ» ДАТЧИКОВ РЕГИСТРАЦИИ СРЫВА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ**

В 2016 году в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) было запущено производство сверхпроводящих магнитов для проектов NICA и FAIR. Для испытания магнитов был создан уникальный криогенный стенд, который, кроме прочего оборудования, имеет систему электропитания и систему защиты с применением «универсального» датчика регистрации срыва сверхпроводимости [1]. «Универсальный» датчик был разработан в Лаборатории физики высоких энергий (ЛФВЭ) ОИЯИ на основании опыта эксплуатации системы защиты ускорителя Нуклотрон. Стенд криогенных испытаний предназначен для магнитов со сверхпроводящим (СП) кабелем циркуляционного типа [2, 3].

В работе описывается опыт и методы применения «универсального» датчика на основе которого была реализована защита для испытания сверхпроводящих магнитов NICA и FAIR (SIS100). Подтверждена эффективность работы датчика на основании более четырёхста испытаний. Определены основные направления развития системы детектирования нормальной зоны для испытательного стенда.

### **Литература**

1. **Е.В. Иванов, Л.А. Светов, З.И. Смирнов**, Датчик перехода в нормально-проводящую фазу сверхпроводящих элементов ускорительного комплекса NICA, Письма в ЭЧАЯ, 2014, Т11, №4 (188) с. 753–759.
2. **Kostromin, Sergey** et al. “Commisioning of Facility for Assembling and Tests of Superconducting Magnets.” (2016).
3. **Смирнов**, Нуклотрон — новая технология сверхпроводящей магнитной системы синхротрона, Письма в ЭЧАЯ, 2001, Т 32, Вып. 1. 96–142.

*Е.П. Сенчиков, студ.;*  
*рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ**

Электроэнергия — основной источник энергии в современном мире. Гидроэнергетика является важной частью электрической системы в России. Одним из основных элементов ГЭС является гидрогенератор (ГГ). ГГ может перегреваться, что может привести к сбою в электроснабжении, снижению срока эксплуатации и поломке ГГ. Для предотвращения перегрева активных и конструктивных частей ГГ в его конструкцию включена система охлаждения.

Во время работы ГГ возникает теплота, которая может привести к перегреву, представляющая собой: потери на нагрев проводников, потери на трение вращающихся частей, потери на вихревые токи и перемагничивание и потери на циркуляцию среды охлаждения. Допустимые температуры нагрева, к примеру, обмоток статора и ротора зависят от применяемых изоляционных материалов и температуры охлаждающей среды [1].

Допустимая температуру нагрева изоляция класса В находится в пределах 105 °С, для статора до 130 °С. Применяя более теплостойкую изоляцию обмоток класса F или H, допустимый предел температурного нагрева увеличивается. Чем выше температура нагрева, тем быстрее износ изоляции. При температуре нагрева до 105°С срок службы изоляции класса В составляет 30 лет, до 120°С — около 15 лет, до 140°С — около 2 лет [1].

Во время работы ГГ в любом режиме работы нельзя допускать явления перегрева, и искусственное охлаждение позволяет предотвратить его. Для ГГ применяют системы охлаждения с воздушным и водяным охлаждением. Они могут быть замкнутыми, разомкнутыми, аксиального или радиального типа в зависимости от конструктивных особенностей машины.

Соблюдение температурного режима ГГ является важной задачей. Поэтому применение эффективной системы охлаждения является важнейшей задачей. Такая система охлаждения позволяет снизить металлоемкость, влияет на габаритные размеры, обеспечивает экономичность и служит гарантией срока эксплуатации ГГ.

В данной работе будет проведен анализ системы охлаждения ГГ и проведена оценка ее эффективности. Особенное внимание будет уделено статорной системе ГГ.

### **Литература**

1. **G. Mottershead, S. Bomben, I. Kerszenbaum, G. Klempner.** “HANDBOOK OF LARGE HYDROGENERATORS Operation and Maintenance” by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, published simultaneously in Canada — IEEE PRESS Willey, 2021.

*Е.Д. Лапшин, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ УСТАНОВКИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Вибрационные машины и процессы получили широкое и разнообразное применение в строительстве, производстве строительных материалов и во многих других отраслях. Испытание вибрационных устройств базируется на анализе параметров вибрации, основанной действующим оборудованием, либо же обусловленной структурой исследуемого объекта. Вибрационная техника продолжает существенно совершенствоваться, возникают все новые области ее эффективного применения.

Существует три способа возбуждения вибрации неавтономных динамических систем: силовой, кинематический и параметрический [1]. Системы с силовым и кинематическим возбуждением совершают вынужденные колебания, а с параметрическим возбуждением — параметрические колебания. Силовое возбуждение колебаний осуществляется действием на систему возбуждающих сил. Кинематическое возбуждение колебаний осуществляется сообщением извне некоторым ее точкам или телам перемещений, не зависящих от координат состояния системы [2].

Принцип работы исследуемого устройства основан на взаимодействии полей: электромагнитного поля, создаваемого электромагнитом при протекании тока по катушке возбуждения, и поля постоянных магнитов. В результате возникают колебания возвратно-поступательного типа. Модель устройства состоит из электрической и механической подсистемы. Магнитная подсистема является более точной макромоделью с пространственно-временными распределенными параметрами, определенными с помощью численного анализа магнитного поля. Распространение теплоты в пространстве в исходной системе не рассматривается.

В данной работе проведен анализ системы вибрационного исполнительного механизма и проведена оценка ее эффективности.

### **Литература**

1. Вибрационные машины и процессы в строительстве. Бауман В.А., Быховский И.И. Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов. — М., «Высшая школа», 1977. — 255 с.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей. — М.: Машиностроение, 1981. — Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. — 509 с.

*А.М. Аверкиев, А.А. Костенко, студенты;  
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ СИСТЕМ ОНЛАЙН МОНИТОРИНГА**

Современные турбогенераторы являются технически сложными устройствами, от корректной и надежной работы которых зависит энергетическая инфраструктура. По этой причине приоритетной задачей является обеспечение их надежной работы на протяжении всего срока эксплуатации. При этом актуальным остается вопрос мониторинга параметров генератора, так как это позволяет заблаговременно выявить неисправность [1].

На сегодняшний день сравнение контролируемых с помощью АСУТП величин с максимально допустимым отклонением не считается достаточно эффективным принципом мониторинга, так как свидетельствовать о потенциально опасных режимах работы могут отклонения, не превышающие этих величин, или выявляющиеся в высокочастотной области, превышающей скорость опроса и записи данных с датчиков. В связи с этим популярность набирают системы мониторинга в реальном времени, использующие различные компьютерные модели совместно с алгоритмами машинного обучения. Самой перспективной подобной системой является так называемый «цифровой двойник», являющийся подробной математической моделью контролируемой системы. Однако в случае с турбогенераторами подобный подход не применим при текущем развитии вычислительной техники, так как расчёт распределения магнитного поля требует больших вычислительных затрат и, как следствие, не может проводиться в реальном времени.

Эффективной альтернативой может стать комбинированный подход с использованием макромодели турбогенератора, работающей в реальном времени на основании заранее рассчитанных с помощью численных методов параметров.

В рамках настоящего доклада представлена 3D модель, построенная в программе EasyMAG3D для численного расчёта параметров поля при работе турбогенератора в различных режимах, а также результаты моделирования магнитной системы турбогенератора. На основании этой модели впоследствии будет составлен массив данных, с использованием которых будет построена цифровая модель турбогенератора.

### **Литература**

1. Ю.В. Шаров, Г.Ф. Бинько, В.В. Беляков, Ю.Д. Виноцкий, О.С. Голоднова, Т.В. Купчиков, М.В. Федотов, А.А. Астанин, В.М. Тарасов, Р.Г. Милаев, Д.Е. Пичугин, П.В. Шумов, «Цифровизация контроля текущего состояния и предиктивной диагностики турбогенераторов на электростанциях», ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ, № 6 (49), 2019, стр. 18–30.

*С.А. Шаров, студ.; рук. Н.А. Ведешенков к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТАКТНО ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ РЕШЁТКИ**

На основании изучения поведения дуги в дугогасительной решётке, а также процессов, способствующих и препятствующих вхождению дуги в дугогасительную решётку, было выдвинуто предположение об оптимизации процесса охлаждения дуги при взаимодействии с дугогасительной решёткой и облегчения входа дуги в решётку.

Для облегчения условия входа дуги в камеру и её эффективного гашения предполагается выполнить изменение геометрии пластин. В дальнейшем предлагается делать геометрию пластин по принципу гашения дуги постоянного тока дугогасительной системы типа узкая щель. При этом по мере удаления дуги от контактов расстояние между пластинами решётки дугогасительной камеры будет прогрессивно уменьшаться. Обеспечивая постоянное воздействие на дугу, и тем самым охлаждая её, будет повышаться сопротивление, уменьшаться ток дуги и диаметр [1]. Расстояние между пластинами при входе в камеру следует увеличить, что будет способствовать облегченному вхождению дуги в решётку. Далее оценивается время входа дуги в первый промежуток и величина падения напряжения на пластинах [2]. Исключение степени влияния электростатических сил от наведённого электрического потенциала на пластинах достигается путём шунтирования, т.е. индивидуального подключения каждой пластины к неподвижному контакту через сопротивление порядка 10 кОм. Камера с модернизированной геометрией и аналогичной камерой без модернизации испытываются при сопоставимых условиях.

По результатам эксперимента анализируются осциллограммы тока и напряжения на дугогасительной камере, а также время вхождения дуги в решётку для двух конструкций, с модифицированной камерой и без модификации. Делается вывод о целесообразности данной модификации. Несмотря на то, что это всё имеет отношение к модернизации дугогасительных систем в автоматических выключателях, вышеописанные предложения могут быть применены и для дугогасительных систем контакторов.

### **Литература**

1. **Bron O.B.** Electric arc in control apparatus // State Energy Publishing House. 1954. 532 pages.
2. **Bul B.K., Butkevich G.V., Godzhello A.G.** Fundamentals of the theory of electrical apparatus// Publishing house "Higher School". Moscow 1970. 600 pages.



*З.З. Кармоков, студ.;  
рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТАКТНО-ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

Наиболее опасным аварийным режимом с точки зрения теплового и механического воздействия на токопроводящие линии и электрооборудования является режим короткого замыкания.

Одним из решений ограничения токов КЗ является использование автоматического выключателя токоограничивающего исполнения, а для более быстрого отключения также с применением пневмоприставки.

Для повышения эффективности работы автоматических выключателей следует выполнить оценку требований по времени динамики размыкания контактов и условия входа дуги в камеру с образованием напряжения на дуге, необходимого для ограничения тока отключения.

Во введении проведено обоснование актуальности исследования и краткое перечисление поставленных задач, решаемых при этом. Далее были рассмотрены конструктивное исполнение контактных узлов, явление сужений линий тока в контактах, силы отталкивания контактов, возникающих при этом. Также были изучены явления токоограничения и требования к устройствам, реализующих это [1].

Были изучены явления токоограничения в устройствах, использующие это явление и требования, предъявляемые к ним. Представлена конструкция фирмы Schneider Electric автоматического выключателя с пневмоприставкой. Объяснён механизм работы пневмоприставки и преимущества её применение по сравнению с магнитным расцепителем [2].

В дальнейшем необходимо выяснить, за счет чего будет достигаться более раннее расхождение контактов при возникновении тока КЗ и какие факторы этому будут способствовать. Так же определить, за счёт чего дуга будет перемещаться в решётку, и что является препятствием этому. На каждом этапе пути перемещения дуги в решётку следует рассматривать явления и факторы, препятствующие или способствующие этому для снижения времени вхождения дуги в дугогасительную систему.

### **Литература**

1. Буль Б.К., Буткевич Г.В., Годжелло А.Г. Основы теории электрических аппаратов. Издательство «Высшая школа», 1970.
2. Таев И.С. Электрические аппараты. Общая теория. М.: «Энергия», 1977.

*Е.А. Рунец, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.н.т., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ОХРАННЫХ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ КЛЮЧАМИ ШИФРОВАНИЯ**

В настоящее время различные системы сигнализации крайне актуальны и окружают нас на каждом шагу в целях защиты информации или объекта. Мы уже не можем представить себе автомобиль без встроенной сигнализации или дом без домофона. Существует несколько видов систем сигнализации: пожарная, охранная и тревожная. Одной из самых распространенных является охранная. Охранные системы — это совокупность совместно действующих технических средств для обнаружения попытки проникновения на охраняемый объект.

Одним из самых надежных способов защитить объект является использование охранных систем с динамически изменяющимися ключами шифрования [1]. Они представляют собой постоянно изменяющийся пакет данных, передаваемый с прибора на блок сигнализации через радиоканал. С каждой новой командой с прибора посылается код, который ранее не использовался [2].

В данной работе планируется разработать алгоритм работы сигнализации шифрования данных под определённую архитектуру с целью определения «свой/чужой». Будет создана программа, алгоритм, проведена верификация проекта и анализ написания конечных автоматов (FSM), проведено сравнение стилистик написания самого кода шифрования.

### **Литература**

1. **Steve Kilts.** «Advanced FPGA Design. Architecture, Implementation, and Optimization», 2012.
2. **Weng Fook Lee.** «Verilog Coding for Logic Synthesis», 2016.

**Секция 25**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА**  
**Electric drive and automation**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Анучин Алексей Сергеевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Благодаров Дмитрий Анатольевич*

*Д.А. Осипов, асп.; рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАСЧЕТ ТОРМОЗНЫХ ТРАЕКТОРИЙ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ**

Учет ограничений следящего электропривода при формировании его управляющего воздействия является ключом не только к точности отслеживания траектории, но и устойчивой работе [1]. Учет ограничений позволяет в том числе обеспечить безопасность технологического оборудования и персонала. Поэтому при возникновении нештатной ситуации осуществлять экстренное торможение нужно также с учетом ограничений. Суть торможения с учетом ограничений состоит в том, что необходимо просчитать траекторию максимально быстрого торможения с учетом новых ограничений, которые могли претерпеть изменения по результатам обработки диагностической информации [2]. При этом в конечной точке перемещения все производные положения по времени [3] — вплоть до четвертой — должны принять нулевые значения. Эта задача в значительной степени уже решена в [4], где, однако, рассмотрены не все возможные комбинации значений начальных значений механических координат электропривода. Настоящая работа восполняет этот пробел, представляя новый алгоритм расчета тормозных траекторий с учетом любых изменений в ограничениях на координаты следящего электропривода.

### **Литература**

1. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // *Электричество*. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64. — EDN DDWHIM.
2. Диагностика робототехнических систем с использованием облачных технологий развертывания цифровых двойников / А.А. Корунец, Д.А. Осипов, Э.Р. Акмурзин, Л.Н. Рассудов // *Технологии будущего: IV Национальная научно-техническая конференция. Сборник тезисов докладов*, Москва, 05–09 апреля 2021 года. — Москва: Издательство федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»)), 2021. — С. 80. — EDN RLCTTO.
3. **Rassudov, L.N.** Dynamic model exact tracking control of a permanent magnet synchronous motor / L.N. Rassudov, A.P. Balkovoi // *2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 — Proceedings*, Omsk, 21–23 мая 2015 года. — Omsk, 2015. — P. 7147187. — DOI 10.1109/SIBCON.2015.7147187. — EDN UZYIHZ.
4. **Самыгина, Е.К.** Алгоритмы управления прецизионным сервоприводом с учетом ограничений: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самыгина Елизавета Кирилловна. — Москва, 2021. — 20 с.

*А.Р. Золотов, студ.;  
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕЖВИТКОВОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СТАТОРЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) широко используются в разных отраслях промышленности, транспорте, робототехнике. Важным вопросом является своевременное обнаружение неисправностей электродвигателя, которые можно разделить на механические, электрические и магнитные. Повреждения витков обмоток статора являются одним из самых распространенных, и составляют 21–40% от всех видов электрических неисправностей электродвигателей. Наибольшей проблемой являются межвитковые короткие замыкания (КЗ) статора, которые возникают из-за повреждений изоляции и приводят к значительным локальным перегревам при относительно небольшом увеличении действующего значения тока. Главной проблемой возникновения такого рода КЗ — это сложность его алгоритмического детектирования по электрическим параметрам (ток, напряжение). В актуальных исследованиях на эту тему [1] используются преобразования Фурье для разложения тока статора в спектр, и по повышению амплитуд высших гармоник определяются возникновение межвиткового КЗ. Недостатком исследований является то, что основные выводы о работоспособности метода делаются на основании опытов при КЗ в одной фазе большого количества витков (3 и более), что на практике возникнуть может с малой вероятностью. Дальнейшее исследование связано с возможностью применения данного метода в реальном проекте при КЗ малого количества витков (1–2) одной фазы, которое чаще всего возникает на практике.

Исследование проводилось на базе тягового электропривода с применением СДПМ, были проведены опыты по разложению тока статора в спектр с помощью преобразований Фурье при различной нагрузке и скоростях. Полученные данные свидетельствуют о незначительном увеличении амплитуд высших гармоник тока при опытах на холостом ходу, но о работоспособности метода при приложении нагрузки.

### **Литература**

1. **M. Wolkiewicz, T. Grzegorz, T. Orłowska-Kowalska.** “Diagnosis of stator and rotor faults of an induction motor in closed-loop control structure” in Proc. of IEEE Int. Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2018.

*А.Д. Малыгин, студ.;*  
*рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Анализ и настройка современных высокодинамичных систем движения затруднен без развитого функционала настроечного комплектного программного обеспечения [1]. Определение ограничений [2] в результате идентификации объекта при помощи частотного анализа [3], настройка регуляторов [4], построение калибровочных таблиц [5] — все это требует наличия системы обработки данных полученных с объекта. Исходная версия программного модуля позволяет лишь отображать графики физических величин на базе программного обеспечения TwinCAT 3 [6]. Настоящая работа направлена на развитие функционала графического интерфейса пользователя нескольких объектов электроприводов, разрабатываемых на кафедре АЭП НИУ «МЭИ». В ходе настоящей работы необходимо внедрить возможность экспорта и импорта данных, получения частотных характеристик, их анализа.

### **Литература**

1. **Битько, А.О.** Модульный графический интерфейс пользователя для наладки компонентов многоосевых сервоприводов / А.О. Битько // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов, Москва, 15–16 марта 2018 года. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2018. — С. 449.
2. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64.
3. **E. Samygina, M. Tiapkin, L. Rassudov and A. Balkovoi**, “Extended Algorithm of Electrical Parameters Identification via Frequency Response Analysis,” 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED), 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/IWED.2019.8664340.
4. **Самыгина, Е.К.** Сравнение линейных алгоритмов управления положением для прямых сервоприводов / Е.К. Самыгина, Л.Н. Рассудов, А.П. Балковой // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. — 2019. — № 2. — С. 57–64. — DOI 10.24160/1993-6982-2019-2-57-64.
5. **Рассудов Л.Н.** Калиброванное управление силой вентильного двигателя / Рассудов Л.Н., Балковой А.П., Сливинская Г.А., Капитонец В.К., Морозова Т.Н., Иноземцев Г.И. // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2015. Том 2, № 2 С. 3–6.
6. **Паскалов, Н.И.** Создание графического интерфейса транспортной производственной системы / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 года. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2020. — С. 431.

*Д.В. Колабин, студ.;*  
*рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ КОМПЕНСАЦИИ ЗУБЦОВОЙ СИЛЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Зубцовая сила присуща синхронным машинам пазовой конструкции [1] и калибровочные таблицы находят широкое применение в качестве компенсатора возмущений, вызванных этой силой, проявляющихся в увеличенных пульсациях скорости [2]. Для составления калибровочных таблиц используются данные о силе в функции положения при движении на низких (ползучих) скоростях [3, 4]. Для удобного и эффективного применения калибровочных таблиц для централизованных систем управления, управляющих множеством однотипных подвижных частей [5] на значительных перемещениях необходим специализированный программный модуль, который позволит использовать индивидуальные длинно и короткопериодные калибровочные таблицы для каждой подвижной части.

### **Литература**

1. **Балковой А.П., Цаценкин В.К.** Синхронные машины с сосредоточенными обмотками для прямого электропривода. Труды МЭИ — 2010 № 686 — стр 18–27.
2. **Рассудов Л.Н.** Калиброванное управление силой вентильного двигателя/ Рассудов Л.Н., Балковой А.П., Сливинская Г.А., Капитонец В.К., Морозова Т.Н., Иноземцев Г.И. // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. 2015. Том 2, № 2 С. 3–6.
3. **Отрашкевич, В.Г.** Автоматизированная идентификация зубцовой силы прецизионного электропривода / В.Г. Отрашкевич // *Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ДВАДЦАТЬ СЕДЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ*, Москва, 11–12 марта 2021 года. — МОСКВА: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2021. — С. 470.
4. **Рассудов Л.Н., Капитонец В.К., Сливинская Г.А.** Калибровка силы прецизионного линейного электропривода. Труды МЭИ № 690, 2014, Стр. 10–18.
5. **L. Rassudov, O. Tolstikh, M. Tiapkin, N. Paskalov, A. Korunets and D. Osipov**, “Digital Twin Implementation for Accelerating the Development of Flexible Transportation System Control Software,” 2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2021, pp. 1–4, doi: 10.1109/RTUCON53541.2021.9711704.

*А.А. Корунец, студ.;*  
*рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СИММЕТРИЧНЫЕ И НЕСИММЕТРИЧНЫЕ РЕЖИМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Режимы динамического торможения синхронной машины с постоянными магнитами используются, во-первых, для ограничения неконтролируемого разгона системы в отсутствие источника электрической энергии. Во-вторых, для обеспечения аварийного торможения рабочего органа электропривода при внеплановом отключении электрического питания. В-третьих, режим динамического может быть предусмотрен в технологическом процессе.

Известные производители предусматривают возможность реализации симметричных и несимметричных режимов динамического торможения для своих сервоприводов. В описании к оборудованию часто даются некие общие рекомендации по выбору аппаратных решений [1], которые универсальны и не учитывают специфику конкретной установки, фактические и требуемые ограничения координат. В литературе встречаются отдельные обзоры симметричных режимов [2], в некоторых каталогах приводятся механические характеристики синхронных машин с замкнутыми накоротко первичными обмотками [3]. Однако отсутствует целостное математическое описание, позволяющее построить и сравнить соответствующие асинхронные механические характеристики динамического торможения для синхронных машин с постоянными магнитами, которое бы позволило обоснованно выбирать решение для конкретного технологического объекта — с учетом ограничений ему присущих [4]. Настоящая работа призвана решить эту проблему.

### **Литература**

1. **M.N. Ekim, A.O. Unal and A. B. Yildiz**, “Analysis of Non-Regenerative Resistive Dynamic Braking Behavior of PMSM,” 2021 21st International Symposium on Power Electronics (Ee), 2021, pp. 1–5, doi: 10.1109/Ee53374.2021.9628205.
2. **HIWIN MIKROSYSYTEM CORP.** E1 Series Servo Drive User Manual. MD09UE01-2112\_v2.2
3. **Siemens.** SINAMICS S120. Peak and continuous load motors in the 1FN3 product family. Configuration Manual.
4. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64. — EDN DDWHIM.



*В.В. Макарук, студ.;*  
*рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ МНОГОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**

Энергоэффективное применение насосных агрегатов является важной составляющей снижения непроизводительного потребления электроэнергии в системах водоснабжения. В связи с широким внедрением частотно-регулируемых электроприводов появилась возможность обеспечить эксплуатацию насосов в зоне их наиболее высокого КПД [1, 2]. Но если подобное решение не сложно осуществить в установке с одним насосом, то в системах с несколькими насосами, параллельно работающими на одну трубопроводную магистраль, реализация такой возможности требует разработки специальных алгоритмов управления. Созданию подобного алгоритма и посвящена представляемая работа.

Основная идея, положенная в основу разработки алгоритма, заключается в том, что необходимо обеспечить совместную работу насосов в многонасосной станции таким образом, чтобы каждый частотно-регулируемый насос работал максимально близко к экстремуму собственной функциональной зависимости «КПД от производительности». Причем обеспечивать указанный экстремум необходимо вне зависимости от текущего режима насоса в координатах расход/напор. Необходимым условием реализуемости такого алгоритма является наличие данных о координатах зоны наивысшего КПД насосов, применяемых в агрегате (как правило, подобная информация предоставляется изготовителем насосов, причем — с учетом скорости рабочего колеса насоса и КПД электродвигателя).

В докладе представлен как сам разработанный алгоритм, так и функциональная структура системы управления, снабженной необходимыми датчиками расхода и напора воды. Приведены результаты оценки эффективности предлагаемого алгоритма, полученные на соответствующей математической модели.

### **Литература**

1. **Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко.** Электропривод. Энерго- и ресурсосбережение. Учеб. пособие для студентов. — М.: Академия, 2008. — 208 с.
2. **Б.С. Лезнов.** Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с.

*В.Э. Комиссаров, студ.;*  
*рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД КВ-ФИЛЬТРА ТОРОИДАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

В последнее время наблюдается тенденция к расширению показаний к применению лучевой терапии [1], как следствие, потребности медицинских организаций в современных комплексах дистанционной лучевой терапии (ДЛТ). Для обеспечения качественного лечения пациентов современные комплексы ДЛТ имеют развитый функционал. В разрабатываемом отечественном тороидальном комплексе ДЛТ должно быть четыре электропривода, обеспечивающих позиционирование фильтров и детекторов излучения.

Особенность электропривода КВ-фильтра, связанная с его конструкцией, состоит в том, что к нему предъявляются относительно невысокие требования по точности позиционирования в каждом из двух положений. Для системы движения предполагается использовать шаговый электропривод [2], управляемый по интерфейсу CoE. Для контроля позиции должен использоваться, во-первых, тросиковый энкодер с потенциометрическим выходным сигналом. Во-вторых, датчики конечного положения.

Доклад посвящен вопросам построения и настройки такого электропривода с учетом ограничений [3].

### **Литература**

1. **Е.В. Хмелевский, А.Д. Каприн**, «Состояние радиотерапевтической службы России: сравнительный анализ и перспективы развития», Онкология. журнал им. П.А. ГЕРЦЕНА, 4, 2017.
2. **Балковой, А.П.** Прецизионный электропривод с вентильными двигателями / А.П. Балковой, В.К. Цаценкин. — Москва: Издательский дом «МЭИ», 2010. — 328 с. — ISBN 978-5-383-00457-9. — EDN QXSHYA.
3. **Рассудов, Л.Н.** Учет аппаратных ограничений при построении систем управления сервопривода / Л.Н. Рассудов // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 57–64. — DOI 10.24160/0013-5380-2020-7-57-64. — EDN DDWHIM.

*М.Ю. Красильников, студ., А.А. Алексеев, асп.;  
рук. В.В. Тютиков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ШПИНДЕЛЕМ**

Использование высокоскоростных шпинделей упрощает производственный процесс, а также повышает качество обработки. Это отражено в кривых Соломона [1], которые показывают снижение сил резания на достаточно высоких скоростях шпинделя (от 12000 об/мин) и уменьшение нагрева заготовки, т.к. основная масса тепла переходит в стружку.

Основной проблемой в применении высокоскоростных шпинделей является отсутствие доступных датчиков скорости/положения, способных нормально функционировать на высоких скоростях. Существуют датчики, основанные на магнитных эффектах (эффекте Холла, изменении магнитного сопротивления), предназначенные для работы в этих режимах, но они достаточно дорогие.

Поэтому целесообразно разрабатывать бездатчиковую систему управления скоростью электродвигателя для работы в области высокоскоростной обработки.

Существуют различные методы бездатчикового управления [2]. Особый интерес представляет класс наблюдателей, основанных на модели двигателя. Такие наблюдатели можно разделить на адаптивные и неадаптивные. Последние используются для улучшения работы в асинхронных электроприводах с датчиком скорости/положения, поэтому в данном исследовании рассматриваются адаптивные наблюдатели.

В адаптивных наблюдателях скорость определяется с помощью некоторого закона адаптации (часто связанного с ПИ-регулятором), который компенсирует неопределённость в механической части привода.

При работе на низких скоростях оценка перестаёт быть адекватной. Первый вариант решения этой проблемы — переход на скалярное управление при остановке и работе на низких скоростях. Второй вариант — запрет на работу на низких скоростях и остановка “выбегом” с последующей подачей на двигатель постоянного напряжения.

В рамках исследования проводится сравнение этих решений путем математического моделирования.

### **Литература**

1. **Цейтлин А.** Высокая скорость обработки. Антикризисные рецепты от CSoft: InventorCAM // CADmaster. 2009. № 2–3. С. 46–55.
2. **J. Holtz.** Sensorless Control of Induction Motor Drives // Proceedings of the IEEE. 2002. VOL. 90, NO. 8. P. 1359–1394.

*М.И. Холодков, Е.В. Горелкина, студенты; К.К. Ермаков, асп.;  
рук. И.А. Тихомирова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АНТРОПОМОРФНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКИ**

В данной работе рассматривается процесс создания прототипа роботизированной руки [1], являющейся частью большого проекта по созданию экзоскелета в виде перчатки. Данный проект реализуется коллективом студенческого научно-технического общества «Вектор» Ивановского государственного энергетического университета.

Для обеспечения работы демонстрационной модели не обязательна высокая точность позиционирования. Поэтому при создании первого прототипа не применялись дорогие и сложные микроконтроллеры, прецизионные двигатели и датчики положения, а также детали, выполненные из металла. По этой причине в проекте была использована общедоступная аппаратная платформа Arduino, набор датчиков и шаговых двигателей к ней. Кроме того, в качестве основы для создания корпусных деталей и механизмов роботизированной руки был выбран метод печати пластиковых деталей на 3D принтере, с помощью которого можно быстро напечатать деталь практически любого размера и формы. Кроме того, используя данные компоненты денежные затраты будут невысоки, что не мало важно при реализации проекта в рамках студенческого объединения.

В ходе работы над проектом была решена задача создания 3D моделей прототипа роботизированной руки, с учетом компоновки двигателей и механизмов в корпусе руки. Выполнена печать и сборка компонентов в единое устройство, сделана настройка механики движения пальцев. Сгибание и разгибание пальцев руки осуществляется благодаря лескам, закрепленных на них, и шаговым двигателям, приводимым в движение с помощью драйверов и управляемых с помощью микроконтроллера. На языке C++ написана программа управления роботизированной рукой, позволяющая осуществлять движение пальцев руки, показ различных жестов и знаков при включении устройства в автоматическом режиме.

Дальнейшая работа над проектом предполагает проектирование и сборку прототипа экзо-перчатки, настройку взаимодействия роботизированной руки и перчатки, а также тестирование обратной связи на различных предметах, позволяющие понять габариты объекта, находящегося в захвате прототипа.

### **Литература**

1. **Шадрин Д.В.** Роботизированная рука с дистанционным управлением // Сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12–14 апреля 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — С. 278–281.

*А.А. Чепига, асп., Н.А. Травкин, студ.;*  
*рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОГО МНОГОФАЗНОГО DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

В электроприводах, имеющих нестандартные источники питания, такие как контактная сеть, аккумуляторные батареи и другие, применяют преобразователи постоянного напряжения (DC/DC), задача которых — создать стабильное напряжение уровня, необходимого для питания инвертора [1].

Среди известных топологий преобразователей в автономных системах энергоснабжения наиболее распространен многофазный двунаправленный преобразователь. Путем увеличения количества фаз преобразователя достигается минимизация номинального тока дросселя и его массо-габаритных показателей, уменьшения пульсаций тока и напряжения, замена алюминиевых электролитических конденсаторов на пленочные или керамические для уменьшения эквивалентного последовательного сопротивления и повышения плотности мощности [2]. Однако это может привести к увеличению стоимости и сложности разработки. Поэтому необходимо соблюдать баланс при выборе количества каналов [3].

В данной статье рассматривается двунаправленный 3-фазный DC/DC преобразователь для автономной газотурбинной энергоустановки мощностью 30 кВт.

Если проанализировать топологию многофазного DC/DC преобразователя — можно заметить, что она похожа на двигатель постоянного тока. Дроссель подобен обмотке якоря двигателя, выходное напряжение — противоЭДС, а выходная емкость — механической инерции. Соответственно подход при синтезе системы управления может быть аналогичен — как и для двигателя постоянного тока. Поэтому в данной работе предлагается синтезировать двухконтурную систему регулирования двунаправленного многофазного DC/DC преобразователем.

### **Литература**

1. **D. Schumacher, P. Magne, M. Preindl, B. Bilgin and A. Emadi**, “Closed loop control of a six phase interleaved bidirectional dc-dc boost converter for an EV/HEV application,” 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2016, pp. 1–7, doi: 10.1109/ITEC.2016.7520233.
2. **J. Guo et al.**, “A Comprehensive Analysis for High-Power Density, High-Efficiency 60 kW Interleaved Boost Converter Design for Electrified Powertrains,” in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 7, pp. 7131–7145, July 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2991395.
3. **P. Magne, P. Liu, B. Bilgin, and A. Emadi**, “Investigation of impact of number of phases in interleaved dc-dc boost converter,” in Proc. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Dearborn, MI, June 2015, pp. 1–6.

*А.А. Чепига, асп.,  
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ШИМ И БАЛАНСИРОВКИ НАПРЯЖЕНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ 3-УРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА С Т-ОБРАЗНЫМ МОСТОМ**

В последнее время 3–уровневые преобразователи все чаще используются в источниках бесперебойного питания и электростанциях на возобновляемых источниках энергии благодаря высоким требованиям к эффективности и качеству выходного сигнала этих устройств [1].

Основным преимуществом 3-уровневой схемы с фиксированной нейтралью (3L-NPC) является низкий коэффициент гармоник выходного тока, что позволяет значительно упростить выходной фильтр или полностью отказаться от него.

Транзисторы и диоды преобразователя 3-L работают при половинном напряжении звена постоянного тока, поэтому он может быть построен на переключателях меньшего класса напряжения (например, 600 В вместо 1200 В), характеризующихся низким уровнем потерь и более высокой плотностью тока. Благодаря этому использование топологии 3L-NPC позволяет значительно повысить эффективность преобразования на высоких частотах.

Для данной топологии преобразователей возможны следующие реализации схемы: с подключением к нейтральной точке через диоды и с Т-образным мостом. Разница между двумя конструкциями заключается в том, что в модуле с Т-образным мостом линия питания 0 В подключена к выходу модуля транзисторами. Это обеспечивает большую гибкость при реализации ШИМ, а возможность одновременного замыкания всех ключей, соединяющих линии питания с нагрузкой, может использоваться при аварийном отключении.

В данной работе рассматриваются как проблемы управления преобразователем 3L-NPC в режиме выпрямителя, так и проблемы баланса напряжения на конденсаторах постоянного тока. Для решения было предложено применить классическую векторную систему управления для двух основных режимов работы (активный выпрямитель и венский выпрямитель), а также ШИМ с компенсацией дисбаланса напряжения звена постоянного тока.

### **Литература**

1. **C. Li et al.**, “A Modified Neutral Point Balancing Space Vector Modulation for Three-Level Neutral Point Clamped Converters in High-Speed Drives,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 2, pp. 910–921, Feb. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2835372.

*И.А. Латвис, А.А. Соколов, студенты;  
рук. Н.Е. Гнездов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Способность участвовать в проектировании электроприводов является одной из основных компетенций выпускников профиля «Электропривод и автоматика». Это подразумевает умение программировать микроконтроллеры (МК) типа Motor control, на базе которых строятся современные системы управления электроприводами (СУЭП). Для обучения программированию таких МК необходимы специализированные лабораторные стенды. К сожалению, в литературе под такими стендами подразумевают, как правило, только отладочные платы [1-2].

Авторы разработали собственный стенд, который, кроме отладочной платы, включает измерительное (мультиметр, осциллограф) и отладочное (адаптеры интерфейсов, в частности, usb-CAN или RS485-CAN) оборудование, размещённые на специальной установке. Стенд обеспечивает удобство и безопасность работы с оборудованием. Весь набор оборудования расположен на уровне глаз человека, сидящего за столом. Оборудование не мешает работе с компьютером, установленным на том же столе: исключены возможности случайного касания отладочной платы при движении рук, например, при работе с компьютерной мышью или с измерительным оборудованием. Разработана техническая документация на стенд, создаётся методическое и программное обеспечение для лабораторных работ. На базе 8-ми экземпляров стенда формируется лаборатория МК средств в ЭП.

### **Литература**

1. **Попов, С.А.** Обзор существующих решений и разработка собственных учебных курсов и стендов по программированию микроконтроллеров PIC16, STM32, Arduino / С.А. Попов, В.Х. Абдрахманов // Инженерное образование в контексте будущих промышленных революций — СИНЕРГИЯ-2020: Сборник научных статей междунар. сетевой научно-практической конференции, Казань, 03 сентября — 04 2020. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический ун-т, 2020. — С. 199–208.
2. Разработка лабораторного стенда для обучения студентов программированию микроконтроллеров / А.В. Волков, С.А. Шиков, Р.Р. Биктякова, Т.А. Захватова // Материалы XXIII научно-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва 21–28 мая 2019 года. — Саранск: Нац-й иссл-й МГУ им. Н.П. Огарёва, 2019. — С. 363–367.

*К.В. Быкова, Н.А. Курицына, студенты;  
рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ**

Современное металлорежущее оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) совмещает гибкость универсального и высокую производительность специального автоматического оборудования. Однако, чтобы пользоваться всеми преимуществами сложного оборудования с ЧПУ, необходимо представлять технологию подготовки программ, а также знать ее специфику под конкретные режимы работы. Таким образом, для подготовки специалистов разрабатывается лабораторный практикум, ориентированный на формирование теоретических знаний, практических умений и навыков наладки, настройки и программирования обработки сложных изделий на металлорежущих станках с ЧПУ.

Лабораторные работы практикума будут выполняться на фрезерно-гравировальном станке Cutter FG 380x190x140 с применением программного обеспечения Mach3 [1], разработанного для управления фрезерными и токарными станками, плазменными резаками и трассировщиками. Так как G-код в Mach3 не генерируется автоматически из 3D-модели детали и сама программа вносится вручную, то в лабораторный практикум будет включена работа по освоению программного обеспечения G-Simple, генерирующего графическое изображение детали в G-код.

Предлагается выполнять следующие виды лабораторных работ:

- проектирование технологических операций обработки детали на фрезерном станке с ЧПУ;
- разработка управляющей программы для изготовления детали на фрезерном станке с ЧПУ;
- контроль и отладка управляющей программы на фрезерном станке с ЧПУ в комплексе Mach3;
- подготовка изображения и перевод в G-код с помощью графической оболочки G-Simple;

Таким образом, студенты смогут изучить принципы фрезерной обработки, освоят навыки разработки управляющих программ в системе ЧПУ, а также научатся описывать геометрические элементы G-кодом.

### **Литература**

1. Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration version 3 / Mach3 CNC Controller Установка и Конфигурирование версии 3 / ArtSoft USA — 2005. — 94с.



*П.А. Черкунов, студ.; К.К. Ермаков, асп.;  
рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА РОБОТА ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО ПО ПРИНЦИПУ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА**

В современном мире роботизация позволяет исключить человеческий фактор и снизить затраты на производство товаров и оказание услуг в самых различных сферах. Робот с легкостью выполняет логистические функции на складах крупных предприятий [1]. Также современные роботы могут выполнять функции официантов в ресторанах и кафе.

Однако во всех этих случаях применяемые роботы статически устойчивы, то есть имеют точку центра масс ниже своей точки опоры.

Было принято решение начать разработку робота, движение которого основывается на принципе обратного маятника, в котором точка центра масс выше своей точки опоры, что является классической проблемой динамики и теории управления. Система широко используется в качестве эталона для тестирования алгоритмов управления (ПИД-регуляторов, нейронных сетей, нечёткого управления и т. д.) [2, 3]. Данный проект реализуется коллективом студенческого научно-технического общества «Вектор» Ивановского государственного энергетического университета.

Реальными примерами принципа обратного маятника являются балансировка людей и предметов в акробатике или катание на одноколесном велосипеде. Этот же принцип применяется и в электрическом самобалансирующемся самокате с двумя колёсами — сегвее.

В соответствии с темой проекта предлагается решить следующие задачи: выбор конструкции робота; выбор среды расчета и создание математической модели; создание 3D-модели конструкции; выбор комплектующих компонентов для опытного образца; сборка и лабораторные испытания прототипа.

Для реализации проекта предполагается применять следующие программные пакеты: MatLab, MathCad, Autodesk Fusion 360, Arduino IDE, Tinkercad.

### **Литература**

1. Amazon начал экономить с помощью роботов — [https://new-retail.ru/novosti/retail/amazon\\_nachala\\_ekonomit\\_s\\_pomoshchyu\\_robotov9469](https://new-retail.ru/novosti/retail/amazon_nachala_ekonomit_s_pomoshchyu_robotov9469).
2. **Формальский А.М.** Управление движением неустойчивых объектов — Москва, ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2012 — 232 с.
3. **Федосов Б.Т.** Управление неустойчивыми объектами. Обратный маятник — [https://klinachevnu.ru/fedosov/bt\\_152\\_Inv\\_Pend\\_control\\_1.htm](https://klinachevnu.ru/fedosov/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm).

*К.Э. Зайцев, студ.; рук. А.А. Алексеев, асс. (ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОРТАЛЬНОГО ТИПА**

Системы портального типа сегодня широко применяются в промышленном производстве. Чаще всего они используются при обработке деталей с большими массогабаритными параметрами. Большое распространение они получили в механизмах движения крановых установок и фрезерных металлообрабатывающих станках.

Портальные системы обладают высокой точностью позиционирования, высоким быстродействием и мощностью, что определяет основные сферы их применения.

В системах портального типа для достижения требуемых технических характеристик используются два двигателя, отвечающих за движение вдоль одной оси. Поэтому важной особенностью при использовании систем портального типа является обеспечение максимальной синхронизации между двигателями, поскольку её недостаточность приведёт к снижению точности позиционирования на скорости, а также к преждевременному износу оборудования.

Основные подходы, используемые для синхронизации — управление по схеме «ведущий-ведомый», при котором управляющее воздействие подаётся на главный (ведущий) двигатель, а уже его положение передаётся в качестве команды ведомому, и «тандемное управление», при котором управление осуществляется обоими двигателями одновременно. Однако подход «ведущий-ведомый» имеет ряд недостатков. Вследствие того, что ведомое устройство следует за ведущим, возмущения, действующие на ведомое, никак не компенсируются ведущим. Также существует некоторая задержка в передаче управляющих воздействий, что приводит к потере синхронизации.

При разработке системы управления предлагается использовать «тандемную» схему. Исследования проводятся методом математического моделирования в среде Matlab Simulink.

### **Литература**

1. **Hakan Gürocak** INDUSTRIAL MOTION CONTROL MOTOR SELECTION, DRIVES, CONTROLLER TUNING, APPLICATIONS, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom, 2016, с. 302 — ISBN: 9781118350812
2. **Kosuke Ishizaki, Burak Sencer and Eiji Shamoto**, Cross Coupling Controller for Accurate Motion Synchronization of Dual Servo Systems, International Journal of Automation Technology, June 2013.

*К.Д. Мосалов, студ.;*  
*рук. П.Е. Ганин, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ СТАНЦИИ СКЛАДИРОВАНИЯ**

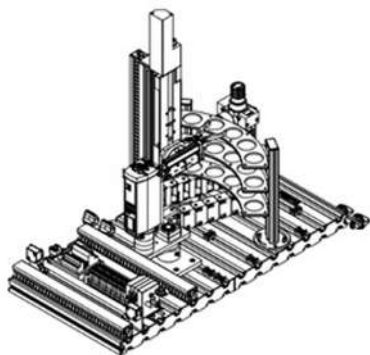
Преимущества применения автоматизированных систем управления (АСУ) в сфере производства очевидны:

- увеличение объемов производства;
- снижение брака продукции;
- снижение себестоимости продукции и т.д.

Вопрос автоматизации производства в России достаточно актуален, так как на 10.000 человек, занятых в производстве, приходится <10 промышленных роботов, что в десятки раз меньше по сравнению с ведущими странами в области автоматизации — Японией, Южной Кореей [1].

Помимо внедрения АСУ в процесс производства наряду с применением систем диспетчеризации нельзя отрицать важность аналитики статистических данных, которые также играют важную роль в контроле производства. Поэтому необходимо применять системы, которые помимо управления, осуществляют сбор данных в процессе работы для их последующего анализа.

В данной работе рассматривается реализация системы автоматического управления станцией складирования компании Festo (рис. 1.) с использованием ПЛК Siemens Simatic S7-300 [2], как некоторого этапа технологического процесса (ТП), с возможностью сбора данных и их последующего анализа в системе с целью принятия решения об оптимизации производственного цикла. Сделаны выводы о преимуществах и недостатках такого подхода к автоматизации ТП.



**Рис. 1.** Станция складирования FESTO

### **Литература**

1. **Хлебенских Л.В.** Автоматизация производства в современном мире / Л.В. Хлебенских, М.А. Зубкова, Т.Ю. Саукова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 16 (150). — С. 308–311.
2. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ STEP7. — Siemens AG. Департамент техники автоматизации и приводов, 2001 — 605 с.

**Секция 26**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЕ**  
**ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**  
**Industrial electric-thermal installations**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Федин Максим Андреевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Кулешов Алексей Олегович*

*А.Ю. Соколов, соиск.;*  
*рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)*

## **РАЦИОНАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ МОЩНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛИ**

Целью работы является выбор параметров дуг высокоомощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП), высоты заглибления дуг в ванну металла и шлак для снижения удельного расхода потребляемой электроэнергии.

В работе показана взаимная связь параметров дуг, высоты слоя шлака и удельного расхода электроэнергии в электропечах ДСП-100. Указанная взаимосвязь позволяет прогнозировать энергетические показатели процесса плавки по результатам расчета теплообмена в печи [1, 2].

В докладе рассматриваются возможные энерготехнологические режимы работы печей ДСП-100 с трансформаторами 80 и 90 МВА. Реализация этих режимов обеспечивает высокие значения среднего за плавку КПД дуг печи 0,78–0,80, которым соответствует минимальный прогнозируемый удельный расход электроэнергии 360–365 кВт·ч/т.

### **Рациональные энергетические и шлаковые режимы электропечи ДСП-100**

№ п/п	$U_D$ , В	$I_D$ , кА	$P_D$ , МВт	$l_D$ , мм	$h_3$ , мм	$\eta_{D,CP}$	$g_{ЭЭ}$ , кВт·ч/т
1	403	60	24,18	479	Дуга в колодце	0,80	360
2	403	60	24,18	479	480–510	0,78–0,79	365–362
3	360	60	21,60	425	425–500	0,78–0,80	365–360
4	360	50	18,00	425	425–500	0,78–0,80	365–360
5	260	70	18,20	300	300–360	0,78–0,80	365–360
6	225	70	17,92	256	260–300	0,78–0,80	365–360

Пояснения к таблице:  $U_D$  — напряжение дуги;  $I_D$  — ток дуги;  $P_D$  — мощность дуги;  $l_D$  — длина дуги;  $h_3$  — высота заглибления дуги в ванну металла и шлак;  $\eta_{D,CP}$  — средний за плавку КПД дуги;  $g_{ЭЭ}$  — удельный расход электроэнергии.

### **Литература**

1. **Макаров А.Н., Соколов А.Ю.** Особенности теплообмена в ванне металла мощных дуговых печей для плавки стали // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. 28-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: НИУ «МЭИ», 2022.
2. **Макаров А.Н., Соколов А.Ю.** Итоги расчета потоков тепловых излучений дуг на ванну металла высокоомощных дуговых сталеплавильных печей // Энерго-ресурсосбережение в промышленности: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Тверь: ТвГТУ, 2022.

*К.С. Котин, асп.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ИНДУКТОР-ЗАГРУЗКА ПРИ НАГРЕВЕ ПЛОСКИХ ЗАГОТОВОК ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ**

Нагрев обрабатываемой детали во взвешенном состоянии позволяет равномерно наносить различные покрытия [1]. Также одновременный нагрев обрабатываемой детали вместе с её подъёмом повышает адгезию материалов и позволяет лучше закрепить покрытие на обрабатываемом элементе.

В текущей статье программном комплексе выполняется моделирование тепловых процессов в системе индуктор-загрузка. Целью работы является определение того как влияет ширина и высота алюминиевой пластины на количество индукторов.

Питание индуктора осуществляется переменным током с частотой 22 кГц и силой тока в 5 кА. Поскольку ширина и высота обрабатываемой пластины могут варьироваться, необходимо подобрать стандартный ряд коэффициентов к каждому набору индукторов для поддержания заданной температуры нагрева при обработке пластин разных размеров. Температура нагрева пластины определяется технологическим процессом нанесения покрытия. В данном случае принимается 150 °С. Требуемое условие — равномерный нагрев поверхности алюминиевой заготовки индуцированными токами. Для соблюдения равномерности нагрева предлагается использовать изменение количества витков индуктора [2]. Итогом моделирования является ряд коэффициентов для каждого набора индукторов. Решение данной задачи обеспечивает универсальность установки, расширяет возможности её применения, обеспечивая всесторонний нагрев плоской заготовки во взвешенном состоянии.

Для выполнения задачи определен ряд значений высоты пластины С1 — 3 мм, 4 мм, 5 мм, для которых проводится три ряда измерений. При первом исследовании ширина пластины А1 изменяется от 50 мм до 60 мм с шагом 1 мм. При втором исследовании от 50 мм до 100 с шагом 10 мм, при третьем от 50 мм до 300 мм с шагом 50 мм.

### **Литература**

1. **Фогель А.А.** Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии. Л.: Машиностроение, 1979. 104 с.
2. **Вайнберг А.М.** Индукционные плавильные печи. М., 1967.

*А.А. Перезябов, студ.;*  
*рук. М.Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Электрические печи сопротивления (ЭПС) — один из самых распространенных видов электротехнологических установок, используемых в самых различных отраслях промышленности. Качество технологических процессов, проводимых в ЭПС, в значительной степени определяется точностью регулирования температурного режима печи, как в части формирования температурного поля (как правило, равномерного) в рабочем пространстве печи, так и в части стабилизации температуры во времени или ее изменения по заданной временной программе.

Значительная часть технологических процессов, проводимых в ЭПС, прежде всего, процессов термической обработки изделий из металлических, керамических и иных материалов, спекания, получения монокристаллов, требует высокой точности регулирования температурного режима (прецизионное регулирование). Высокая точность поддержания температурного режима обеспечивается разделением ЭПС на тепловые зоны с зонным регулированием, использованием исполнительных устройств с точным дозированием мощности, а также использованием усовершенствованных алгоритмов управления, построенных на основе математических моделей теплообменных процессов в печи.

В работе проводится сравнительный анализ вариантов технических решений систем прецизионного регулирования температуры, рассматриваются модели теплообменных процессов в ЭПС, предназначенные для построения алгоритмов регулирования температурного режима, осуществляется выбор аппаратных решений и программных средств для реализации системы. Объектом исследования являются прецизионные ЭПС с теплообменом преимущественно излучением (средне- и высокотемпературные печи).

### **Литература**

1. Автоматическое управление электротермическими установками / Под ред. А.Д. Свенчанского. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 416 с.
2. **Рубцов В.П., Щербаков А.В.** Системы автоматического управления электрическими печами сопротивления. — М.: Изд-во МЭИ, 2015. — 56 с.

*С.А. Сорокина, студ., В.И. Силиверстов, асп., А.В. Щербаков,  
д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ УСТАНОВКИ АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ**

Технологии аддитивного производства изделий, формируемых методом дуговой, плазменной, электронно-лучевой и лазерной наплавки с подачей присадочного материала в виде проволоки интенсивно развиваются [1]. Известно, что при формировании многослойных изделий из-за накопления тепла, изменения теплотехнической массивности и условий теплообмена даже при постоянной мощности источника нагрева и скорости подачи присадочного материала отношение высота слоя к его ширине отклоняется от заданного. Как правило, из-за прогрева изделия за счет теплопроводности, с ростом температуры металла размеры жидкой ванны увеличиваются, а высота слоя снижается. При этом возможен «отрыв» проволоки от ванны и переход к капельному режиму переноса металла, который приводит к возникновению дефектов — колебанию размеров и формы слоя.

Для предотвращения возникновения этого явления необходимо корректировать расстояние «механизм подачи — формируемый слой», что требует разработки соответствующих программно-аппаратных решений. К подобным системам в последние годы проявляется интерес [2], однако, вопросы их программно-аппаратной реализации в научно-технической литературе не раскрыты, что необходимо для проведения исследований.

В докладе рассматриваются различные типы датчиков, которые могут быть использованы для измерения высоты формируемого слоя, а также требования к исполнительному приводу и системе автоматического управления. Показано, что для бесконтактного измерения расстояния до формируемого слоя принципиально могут быть использованы оптические датчики триангуляционного и время-пролетного типов, стереокамеры и радиочастотные датчики, а в качестве исполнительного привода целесообразно использовать шаговый и сервопривод. Описана структура системы управления на базе микропроцессорного контроллера и алгоритм программы стабилизации расстояния «датчик — наплавляемый слой».

### **Литература**

1. **Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б.** Технологии аддитивного производства. — М.: Техносфера, 2020. — 648 с.
2. **Xu, J., Gu, X., Ding, D., Pan, Z. and Chen, K.** // Rapid Prototyping Journal, Vol. 24 No. 6, pp. 1012–1025.



*Д.А. Цирулев, студ.; С.С. Кондрашов, аспирант;  
рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф.,  
М.А. Федин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРЕВА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДИСКОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

В промышленности широко используется как индукционный нагрев, так и другие виды электронагрева для обеспечения заданных температурных режимов деталей, изделий и заготовок в различных технологических процессах. Индукционный нагрев для моделирования и обеспечения тепловых режимов дисков турбин газотурбинных двигателей и установок широко применяется в авиационной промышленности и энергетике [1]. Установки индукционного нагрева отличаются высокой стоимостью и требуют дополнительного оборудования по их электроснабжению. В связи с этим, актуальна разработка новых методов нагрева, которые снижают материальные затраты и позволяют экономить электроэнергию, в том числе, и разработка нового метода нагрева с применением сильных постоянных магнитов.

На кафедре ЭППЭ НИУ «МЭИ» разработан экспериментальный стенд для моделирования нагрева дисков и деталей, вращающихся в электромагнитном поле, созданном с использованием постоянных магнитов. Экспериментальный стенд состоит из двух крепежных кубических рам, измерительной тепловизионной аппаратуры и лабораторного автотрансформатора для регулирования частоты вращения электродвигателя. На первой крепежной раме установлен электродвигатель переменного тока, имеющий номинальную частоту вращения 12000 об/мин и датчик частоты вращения. На второй крепежной раме установлены сильные постоянные магниты (из сплава неодим-железо-бор) с теплозащитными покрытиями. Между поверхностью диска и постоянными магнитами установлен зазор 10 мм.

На данном экспериментальном стенде с использованием тепловизора проведены исследования нагрева диска (из нержавеющей стали), вращающегося на разных частотах вращения в электромагнитном поле, созданном сильными постоянными магнитами.

### **Литература**

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях: Монография. — М.: Инфра-М, 2019.

*С.И. Скрипниченко, студ.;  
рук. С.М. Нехамин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ДУГОВОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Дуговой лабораторный стенд, размещен в учебной лаборатории кафедры ЭППЭ (аудитория А 27) и предназначен для исследований дуги переменного тока [1]. Принципиальная схема электропитания дана в данной работе. При модернизации в схему стенда добавляется управляемый транзисторный преобразователь, который может реализовывать различные режимы управления дугой:

- регулирование амплитуды и формы тока
- регулирование частоты тока
- применение различных контуров управления дугой переменного тока
- управление дугой постоянного тока.

Также в стенде меняется изменяется конструкция дуговой камеры, на смотровые окна которой устанавливаются телевизионные камеры

Задачи, решаемые при модернизации стенда: 1. Расширение возможностей по исследованию и моделированию дугового разряда переменного тока; 2. Расширение возможностей по исследованию влияния параметров схемы питания на режимы работы дуг, при питании от различных токов; 3. Исследование электромагнитной совместимости схем компенсации искажений токов дуги и влияние их на питающую сеть; 4. Исследование дуги переменного тока от классического и транзисторного источника питания и разница их характеристик; 5. Моделирование классической дуги и дуги РТП; 6. Исследование дуги, шунтированной активным сопротивлением соизмеримым с сопротивлением дуги, в том числе схемы с включенной последовательно с дугой индуктивностью, разделение реактивной составляющей полной мощности на индуктивную и мощность сдвига; 7. Исследование критических параметров устойчивости дуги; 8. Сравнение электрической дуги при питании от традиционного источника питания и от управляемого транзисторного преобразователя. Кроме того, с помощью модернизированного стенда появляется возможность исследовать визуально саму дугу при различных схемах электропитания и режимах работы установки.

### **Литература**

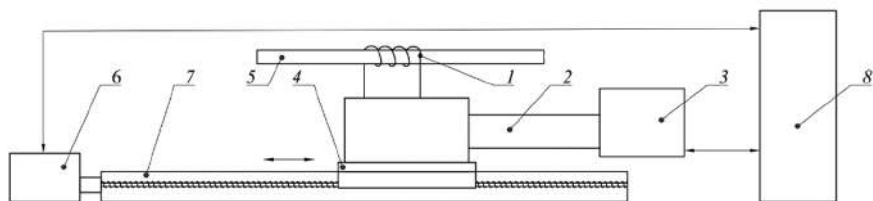
1. **Долбилин Е.В., Чурсин А.Ю.** Дуговые электрические печи лабораторные работы № 1–2 методическое пособие изд. МЭИ 2003.

*Ф.Р. Сулейманов, студ., С.С. Кондрашов, асп.;  
рук. М.А. Федин, д.т.н., проф.,  
А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННОЙ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

Индукционный нагрев на повышенной частоте может эффективно использоваться для проведения процессов оплавления покрытий, наносимых методом газотермического напыления [1]. Поскольку данная технология относится к высокоскоростным способам электронгрева, ключевым фактором обеспечения воспроизводимости физико-механических свойств покрытия является точность управления мощностью нагрева и скоростью перемещения индуктора относительно изделия.

Для решения этих задач разработана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1. В состав установки входит: 1 — индуктор, 2 — гибкий токоподвод, 3 — источник питания, 4 — поддон, на котором закреплен индуктор, 5 — деталь, 6 — шаговый электродвигатель, 7 — механический преобразователь, 8 — шкаф управления.



**Рис. 1.** Функциональная схема экспериментальной установки

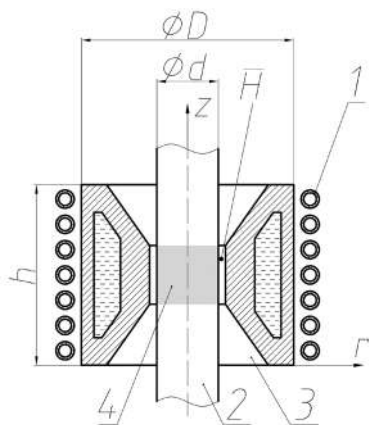
Индукционная установка оснащена шаговым двигателем 6, осуществляющим перемещение индуктора 1 с высокой точностью. Система управления 8 осуществляет прецизионное регулирование выходной мощности источника питания 3, что обеспечивает качественное равномерное оплавление напыленного коррозионностойкого покрытия Castolin Eutalloy RW 12496 заготовки из стали 45.

### **Литература**

1. **Федин М.А., Кувалдин А.Б. и др.** Исследование процесса индукционного нагрева для оплавления напыленных проводящих покрытий // ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕ-РЕЖЕНИЕ — XXI: материалы XVII международной научно-практич. конференции. — Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. — 2019. — С. 109–113.

*А.И. Василенко, М.Л. Зотов, студенты, В.О. Чубарова, асп.,  
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц.,  
А.В. Щербаков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ



**Рис. 1.** Цилиндрический концентратор: 1 — контурная индуктивность; 2 — нагрузка; 3 — концентратор; 4 — зона нагрева

частотных генераторов, а МДС индуктора — параметрами системы охлаждения и конструкцией. Поэтому целесообразно использовать концентраторы ЭМП, позволяющие существенно увеличить напряженность магнитного поля в области нагрева. В промышленности применяются концентраторы ЭМП цилиндрической и плоской конструкции [1]. На рис. 1 представлен цилиндрический концентратор.

Расчеты системы с размерами ( $d=4$  мм;  $D=80$  мм;  $h=63$  мм) при частоте 440 кГц и токе индуктора 250 А показали, что использование концентратора увеличивает  $H$  на поверхности практически в 10 раз (с 8,6 до 82 кА/м), а  $p_{0S}$  в зоне нагрева и расплавления — в 100 раз.

### Литература

1. **Башенко В.В.** Электротермия зонной плавки металлов и полупроводников / В.В. Башенко, А.В. Донской, Д.Г. Ратников, Энергия, 1965.

*А.М. Алёшин, студ.; рук. А.О. Кулешов, к.т.н., ассист. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ**

Разработка АСУ современных электротехнологических процессов — сложная и ответственная задача, решение которой производится в несколько этапов: от составления математической модели до проектирования человеко-машинного интерфейса. Ошибки проектирования АСУ ЭТУ очень трудно исправить на этапе эксплуатации системы — для этого может потребоваться даже пересмотр базовых концепций, лежащих в ее основе. В связи с этим появилась необходимость в программном инструменте-симуляторе АСУ ЭТУ. С его помощью возможно: имитационное моделирование технологического процесса управляющей аппаратурой в различных режимах работы при программно формируемых воздействиях средствами человеко-машинного интерфейса; отладка технологических программ.

В настоящее время основным стандартом межпрограммного обмена данными в сфере промышленной автоматизации, является OPC (OLE for Process Control). OPC — набор повсеместно принятых спецификаций, предоставляющих универсальный механизм обмена данными в системах контроля и управления. OPC-технология обеспечивает независимость потребителей от наличия или отсутствия драйверов или протоколов, что позволяет выбирать оборудование и программное обеспечение, наиболее полно отвечающие реальным потребностям приложения [2].

В прототипе используется OPC-сервер CoDeSys, связанный с контроллером CoDeSys SP PLCWinNT через «общий» шлюз типа TCP/IP. Список переменных для обмена формируется в контроллере.

В ходе работы проведена разработка системы автоматического управления ЭТУ индукционного нагрева на базе программируемого логического контроллера (ПЛК).

В Matlab Simulink разработана управляющая модель, в которой выполняется чтение и запись OPC-переменных, вычисление ошибки регулирования, формирование управляющего воздействия и отладка. Для обеспечения передачи сигналов между управляющей моделью и оборудованием для контроллера написана программа на языке FBD, а также проведена конфигурация OPC-сервера CODESYS.

### **Литература**

1. **Ануфриев И.А.** MATLAB 7. Наиболее полное руководство СПб.: БХВ Петербург, 2005. — 1104 с.
2. **Рыбалев А.Н., Николаец Ф.А.** Разработка и эмулирование АСУ ТП с использованием программ разных производителей и типов // Вестник АмГУ 2014. № 65.

*Е.С. Булгакова, рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОГО ИНДУКТОРА С ВНЕШНИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**

Индукционные нагревательные установки имеют низкий электрический КПД (до 60%). В особенности снижение энергетических характеристик наблюдается у установок для нагрева заготовок из металлов с низким удельным электрическим сопротивлением (алюминий, медь и их сплавы). Известно, что одним из путей повышения энергетических показателей данных установок является применение многослойных индукторов с внешним охлаждением.

Целью данной работы является исследование электрических и тепловых параметров многослойного индуктора с внешним охлаждением, а также разработка методики расчета индукционного устройства для нагрева алюминиевых заготовок.

Решение электромагнитной задачи позволило выбрать конструктивные параметры системы «многослойный индуктор — загрузка» (количество слоёв и толщину слоя индуктора, зазоры системы, размер загрузки), определить электрический КПД и  $\cos \varphi$  системы [1].

Решение тепловой задачи позволило уточнить конструктивные параметры (количество и высоту секции индуктора) и энергетические показатели системы (с учетом меняющихся свойств материала индуктора в процессе нагрева), а также оценить тепловой режим и подобрать оптимальную конфигурацию системы внешнего охлаждения многослойного индуктора [2].

Моделирование электромагнитной и тепловой задач проводилось в программном продукте ELCUT.

На основе полученных результатов исследования разработана методика расчета индукционного устройства для нагрева алюминиевых заготовок и сформулированы рекомендации для повышения его энергетических показателей.

### **Литература**

1. **Булгакова Е.С., Кувалдин А.Б., Федин М.А.** Оценка эффективности применения многослойных индукторов в индукционных установках для нагрева алюминиевых заготовок. «Вестник МЭИ», № 6, 2022.
2. **Булгакова Е.С., Кувалдин А.Б., Федин М.А.** Выбор конструктивных параметров многослойного индуктора с внешним охлаждением. «Промышленная энергетика», № 11, 2022.

*А.И. Василенко, М.Л. Зотов, студенты, А.В. Молостова, асп.,  
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

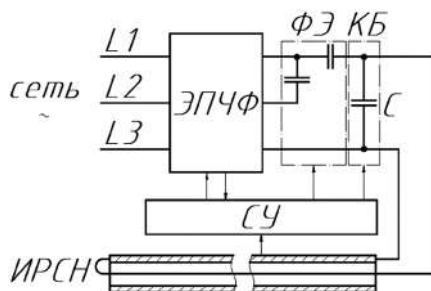
## **ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА**

На сегодняшний день индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) оптимизированы под задачи электрообогрева протяженных трубопроводов. Подача питания с одного конца обогреваемого участка позволяет отказаться от сопровождающей электросети [1]. Кроме того, на данный момент существует ряд не реализованных возможностей улучшения характеристик комплексов с ИРСН: повышение энергоэффективности электронагревательного комплекса, снижение коэффициентов несимметрии благодаря использованию в системе электрообогрева преобразователя числа фаз, увеличение длины системы обогрева.

Для решения поставленных задач необходимо совместное рассмотрение всех элементов системы обогрева, для чего разработан цифровой двойник комплекса электрообогрева на основе ИРСН, структура которого показана на рис. 1.

Мощности современных ИРСН, являющихся однофазной нагрузкой, могут достигать сотен киловатт, поэтому одна из важнейших задач проектирования систем электроснабжения таких устройств электрообогрева является симметрирования нагрузки. Авторами показано, что для этого наиболее целесообразно использование симметрирующего устройства на основе электромагнитного преобразователя числа фаз (ЭПЧФ) и фазосдвигающих элементов (ФЭ), которые в совокупности с конденсаторной батареей (КБ) и системой управления (СУ) обеспечивают поддержание необходимой температуры продукта в трубопроводе, достаточно малые значения коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательностям, высокий коэффициент мощности (рис. 1).

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка цифрового двойника и электрооборудования электротехнологической системы промышленного обогрева нового поколения в нефтегазовой отрасли» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.



**Рис. 1.** Структура цифрового двойника комплекса электрообогрева на основе ИРСН

### **Литература**

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева нефтегазовой отрасли: справочная книга / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин — Москва: Инфра-Инженерия, 2015.

А.Ю. Гераскин, асп., рук-ли. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),  
И.Ю. Гераскина, вед. инж. (АО «Мосводоканал»)

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ САМОРЕГУЛИРУЮЩИХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ОБОГРЕВА ВОДОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

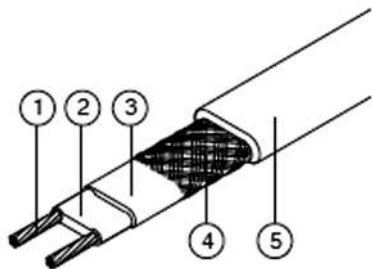


Рис. 1. Саморегулирующийся кабель, где 1 — токопроводящие жилы, 2 — матрица, 3 — электроизоляция, 4 — оплетка, 5 — наружная оболочка из фторполимера

положение провода. Существенное влияние оказывает пусковой ток, который может быть в разы больше рабочего значения из-за значительного РТС-эффекта матрицы, изменяющей сопротивление в зависимости от температуры окружающей среды.

В случае применения саморегулирующихся кабелей для обогрева бытовых водопроводных систем целесообразно применять модели с низкотемпературной матрицей. Согласно нормативной документации, температура воды в трубопроводах системах не нормируется, а значит для работы устройства требуется минимальная мощность, обеспечивающая плюсовую температуру в обогреваемом трубопроводе.

Предполагается, что применение систем обогрева на основе саморегулирующихся кабелей при закрытой прокладке трубопроводов позволит сократить их глубину заложения при небольших затратах на обогрев. Расход электроэнергии можно спрогнозировать на основе метеопрогнозов в соответствии с глубиной промерзания грунта.

### Литература

1. СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.



**Секция 27**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ**  
**Electric vehicles**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., с.н.с. Глушенков Владимир Александрович*

*Секретарь секции: Саможей Ольга Станиславовна*

Д.А. Бережнов, асп.;  
рук. Ю.М. Иньков, д.т.н., проф. РУТ (МИИТ, г. Москва)

## ФИЛЬТР ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПОСРЕДСТВОМ РЕЖЕКЦИИ СПЕКТРА

Силовые нелинейные нагрузки (выпрямители, инверторы, преобразователи) на электроподвижном составе, потребляют значительное количество гармоник напряжения широкого спектра. Вследствие падения напряжения в сопротивлении, на участке электрической цепи, высшие гармоники вызывают искажения напряжения в точках подключения к нагрузке, в которых регламентируется предельный уровень гармоник [1]. Превышение допустимого уровня порождает потери в силовой цепи, звонковую работу элементов защиты. Высшие гармоники негативно влияют на работу силовой цепи [2]. Решение проблем качества электроэнергии, вызванной нелинейными нагрузками, подтверждает актуальность темы исследования [2].

Для компенсации напряжения высших гармонических составляющих, применяют пассивные и активные фильтры гармоник. Основными характеристиками пассивных фильтров считаются простота и невысокая стоимость, при ограниченности компенсации только одной гармоники, и как следствие отсутствие эффективности при изменении гармонического состава напряжения. Универсальным аналогом пассивным фильтрам позиционируются активные фильтры гармоник (АФГ) — полупроводниковые устройства, обеспечивающие абсолютную компенсацию высших гармоник напряжения, в том числе и при изменении спектра сигнала. Принцип действия АФГ заключается в том, что он генерирует в электрическую цепь несинусоидальное напряжение, спектр которого содержит аналогичные высшие гармоники, потребляемые нелинейной нагрузкой, но сигнал подается в противофазе. Этот несинусоидальный сигнал называется напряжением искажения. Рассмотрим принцип формирования напряжения искажения при помощи цифрового режекторного фильтра.

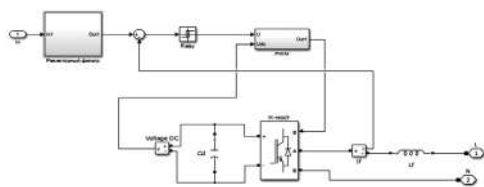


Рис. 1. Имитационная модель однофазного АФГ

Для изучения принципа работы режекторного фильтра в составе системы управления АФГ, была сформирована имитационная модель (рис. 1), состоящая из источника питания, нагрузки с нелинейной ВАХ и однофазного активного фильтра с параллельным подключением.

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения.
2. Бережнов, Д.А. Выбор структуры преобразователей частоты в системе частотного регулирования скорости электропривода переменного тока // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов XXVIII МНТК студентов и аспирантов, Москва, 17–19 марта 2022 г.

*П.Н. Белоногов, студ.; рук. О.С. Саможей, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

На долю железнодорожного транспорта приходится большое количество пассажиро- и грузооборота. И этот вид транспорта считается одним из самых экологических средств передвижения. Но не смотря на позитивные моменты, и экологичность в том числе, есть все-таки некоторое негативное влияние на окружающую среду.

Основная часть загрязнений (воздушной, водной сред, земель при строительстве и эксплуатации железных дорог) происходит в районах, где широко используются тепловозы в качестве локомотивов.

Основными источниками загрязнения окружающей среды объектами железнодорожного транспорта являются:

- тепловозы и магистральные и маневровые локомотивы
- предприятия промышленного железнодорожного транспорта
- вагоны с различными загрязняющими грузами (пылящие материалы, токсичный груз, нефтепродукты)
- локомотивно-вагоноремонтные и щебеночные заводы

Притрассовый автотранспорт, различные машины, помогающие при строительстве и ремонтных работах, тоже вносят свой вклад в загрязнение окружающей среды газами, пылью и нефтепродуктами.

Из пассажирских вагонов происходит загрязнение различным мусором и сточными водами. Так же нельзя исключать факт того, что на экипаже могут проводиться различные опасные грузы. К ним относятся взрыво- и пожароопасные вещества, предметы, которые могут повредить транспорт или железнодорожное полотно, или которые могут вызвать отравления, заболевания или смерть людей и животных.

Вагоны, используемые для перевозки скоропортящейся продукции, оборудованы холодильными установками, которые работают на дизельном топливе и, следовательно, тоже загрязняют атмосферу выбросами.

Нельзя забывать и о заводах, на которых занимают пропиткой шпал, щебеночных заводах и о промывочно-пропарочных станциях. На шпалопротитывающих заводах помимо атмосферы происходит загрязнение почвы и водоемов. Основными загрязнителями являются различные масла, в состав которых входит фенолы.

Подводя итог, хотелось бы сказать, что железнодорожный транспорт является одним из ключевых и основных звеньев в транспортной системе РФ. Но в этой сфере существуют различные проблемы и помимо экологических: старение имеющейся техники и путей, нерациональное использование ресурсов.

*М.С. Горбунов, студ.;*  
*рук. О.С. Саможей ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЯГОВОЙ СЕТИ ТРАМВАЯ И ТРОЛЛЕЙБУСА**

При разработке мероприятий по модернизации тяговой сети трамвая или троллейбуса, в части обустройства контактной сети и кабельных линий, выполняются сложные электрические расчёты, на выполнение которых затрачивается много времени. В первую очередь происходит сбор исходных данных, затем их обработка, далее выполняют электрический расчёт сети, проводят анализ результатов расчёта и сводят все в единый документ. При изменении даже одного исходного параметра требуется внести корректировки, то есть весь цикл работы выполняется заново.

Разработка нового варианта электрического расчёта увеличивает общее время проектирования, сметную стоимость, а также трудозатраты.

Для устранения недостатков, возникающих при частой корректировке исходных данных, предлагается на основе разработанной методики проведения электрического расчёта представить типовые решения по секционированию участков контактной и кабельной сетей. Так к шаблонному виду будут приведены следующие параметры: длина расчётного участка, наличие разветвлений, количество питающих и отсасывающих фидеров, а также их марка, сечение, длина, дополнительно для уточнения параметров расчётных участков будет служить частота движения подвижного состава на линии.

Расчётный шаблон будет представлять собой небольшое приложение, где на выбор предоставляются несколько типовых решений по возможному варианту путевого развития. В шаблоне необходимо задать вышеперечисленные исходные параметры, так как они являются самыми важными при расчётах. На выходе будут показаны расчётные значения, которые сравниваются с нормируемыми величинами согласно техническим требованиям.

В связи с развитием маршрутной сети городского наземного электрического транспорта, возникает необходимость в оперативной модернизации тяговой сети. Поэтому необходимость создания типовых решений при выполнении электрических расчётов становится очевидной.

### **Литература**

1. **Слепцов М.А.** Основы электрического транспорта: учебник для студ. О-75 высш. учеб. заведений / [М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др.]; под общ. ред. М.А. Слепцова. — М.: Издательский центр «Академия», 2006.

*А.М. Смирнов, студ.; рук. Ю.В. Рашек, ассистент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПУСКОВОГО УСКОРЕНИЯ ПРИ МАНЕВРОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ**

В настоящее время для маневровых перемещений электропоездов с коллекторными тяговыми машинами и контактно-реостатным пуском на малых скоростях используется повторно-кратковременное включение маневровой позиции контроллера машиниста. Это приводит к толчкам вагонов и ударному воздействию на передачи и ходовую часть вагонов, повышенному износу контакторной аппаратуры, постоянной работе машиниста ручкой контроллера машиниста, снижающей его внимание за свободностью путей. Особенно часто эта ситуация повторяется при заезде в тупики, где ограничение скорости последовательно снижается с 20 до 5 км/ч, и при проезде мойки подвижного состава, с ограничением в 2 км/ч.

Для решения этой проблемы можно использовать несколько способов: ступенчатое регулирование тока возбуждения тяговых машин (ТМ), плавное регулирование величины тока якоря ТМ и плавное регулирование тока возбуждения ТМ (независимое возбуждение — НВ). Использование плавного регулирования величины тока якоря ТМ требует наличия импульсного преобразователя, т.е. полной переделки схемы силовых цепей моторного вагона электропоезда, исторические примеры такого варианта показали себя не эффективными, например ЭР2и, ЭР12, ЭМ2И. Использование плавно регулируемого НВ ТМ потребует наличия возбuditеля, который будет работать в тяговом и тормозном режимах (в серийной схеме только в тормозном), что возможно при модернизации схем защиты и цепей управления. Наиболее простым для внедрения и в то же время достаточно эффективным является использование ступенчатого регулирования тока возбуждения в режиме тяги на маневровой ступени, т.к. основные необходимые элементы уже присутствуют в схеме, и требуется небольшая коррекция цепей управления. Используя данные из источника [1], были проведены расчеты токов и пусковой силы тяги при глубоком ослаблении возбуждения. Предлагаемое решение позволяет снизить пусковое ускорение при применении глубокого ослабления возбуждения до 3,8 раз, что сокращает число повторных пусков при заезде в тупик и позволяет уменьшить число коммутаций контакторной аппаратуры на 13,3% при движении через мойку по сравнению со штатным режимом.

### **Литература**

1. **Просвириин Б.К.** Электропоезда постоянного тока с электрическим торможением. М: Трансиздат, 2000 г.

*М.Е. Зайцев, И.С. Февралев, студенты;  
рук. В.А Глушенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА НА МАРШРУТАХ МОСКВЫ**

С каждым годом мы наблюдаем прирост количества пассажиров на городском транспорте и числа личных машин. Это естественный процесс для большого города. Сейчас в московском транспортном узле зарегистрировано несколько миллионов автомобилей.

Большое количество машин на дорогах, являются причиной дорожных заторов, которые снижают комфортность их использования. Выделенные полосы для общественного транспорта и его массовое использование может решить эту проблему.

Сравним троллейбус и электробус по различным техно-экономическим показателям. Троллейбус в несколько раз дешевле электробуса, также он имеет меньшую массу оборудования и расход энергии, имеет более высокую экологическую безопасность и производительность, т.к. электробусу требуется подзарядка [1]. К перспективам использования троллейбусов можно отнести серийное применение технологии с автономным ходом, что сделало их менее привязанным к контактной сети. Это позволяет оперативно менять маршруты, организовывать вылетные линии и использовать динамическую подзарядку накопителей энергии, которая позволяет повысить КПД заряда. Наличие накопителей энергии позволяет снизить пиковые нагрузки на контактную сеть, а значит уменьшить потери в ней, и обеспечить экономию энергии за счёт рекуперации в режиме торможения, которую контактная сеть не всегда может воспринять.

Углеродный след от троллейбуса меньше, чем от автобуса, так как для выработки электричества и её передачи потребуется в два раза меньше углеродного топлива для одинакового объёма перевозочного процесса в городском цикле движения. На линиях с повышенным пассажиропотоком необходимо применять трамвайное сообщение, так как строительство трамвайных линий намного дешевле строительство метро.

### **Литература**

1. **Колин А.В.** Троллейбус, автобус или электробус? [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trolleybus-avtobus-ili-elektrobust/viewer>

**Направление V**

**ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Technosphere safety**

---

**Руководитель направления:**

Заведующий кафедрой инженерной экологии  
и охраны труда НИУ «МЭИ», д.т.н., доцент

Кондратьева Ольга Евгеньевна

**Секция 28**  
**ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**Technosphere safety**

---

*Председатель секции: д.т.н., доцент Кондратьева Ольга Евгеньевна*

*Секретарь секции: к.т.н. Локтионов Олег Александрович*



*Ю.А. Комарова, студ.;*  
*рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РОЛЬ СИСТЕМЫ WELL-BEING ВО ВНЕДРЕНИИ ESG-ПРИНЦИПОВ И ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Одним из наиболее перспективных на настоящий момент инструментом для повышения конкурентоспособности и репутационной составляющей компаний является внедрение ESG-принципов (Environmental, Social, Governance — ответственное отношение к окружающей среде, социальное развитие, качественное корпоративное управление). Постоянно растет число компаний, которые в публичных отчетах раскрывают показатели, подтверждающие соответствие деятельности компании ESG-принципам. ESG-стратегия распространяется на все сферы деятельности компаний, но именно уровень культуры безопасности на предприятии может оцениваться, как индикаторный показатель вовлеченности сотрудников в ее реализацию.

Для повышения уровня культуры безопасности и снижения профессиональных рисков на предприятиях все чаще разрабатываются и внедряются программы well-being, целью которых является обеспечение корпоративного благополучия сотрудников. В работе проведена оценка влияния мероприятий в рамках системы well-being на уровень корпоративной ответственности и устойчивое развитие компании.

Если связь между реализуемой программой благополучия и социальными критериями очевидна, то ее влияние на эффективность управления требует более детального исследования. Одним из направлений таких работ является оценка взаимосвязи комфортной рабочей среды с состоянием окружающей среды. Например, здания не только подвергаются влиянию климатических факторов, но и сами могут оказывать воздействие на климат. Компании, стремящиеся организовать «комфортную рабочую среду» в полной мере, будут стремиться к возведению энергоэффективных зданий с нулевыми выбросами [1].

В результате проведенного исследования показано, что управление человеческим капиталом и функционирование системы well-being в организации могут повысить эффективность инвестиций, и по сути являются одним из перспективных инструментов внедрения ESG-стратегии и обеспечения устойчивого развития компании.

### **Литература**

1. **MacVicar L.** Well-being: A new cornerstone for ESG strategy and reporting. 2022. 1st part. 10 p.

*А.К. Бессонова, студ.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЕЙ ШУМА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

Шум является физическим вредным и опасным производственным фактором, фактическую экспозицию которого в обязательном порядке необходимо учитывать на рабочем месте, в соответствии с трудовым законодательством. В 2021 году по данным Роспотребнадзора 14,6% рабочих мест промышленных предприятий не соответствовали гигиеническим нормативам по уровню шума. Постоянное акустическое воздействие зачастую становится причиной заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, органов слуха. На настоящий момент шум вызывает 53% случаев профессиональных заболеваний в России. Сейчас его уровень нормируется с помощью СанПиН 1.2.3685-21, заменившим в рамках регуляторной гильотины СанПиН 2.2.4.3359-16. Установлено, что новый документ не содержит ранее существовавших формулировок о возможности работы при эквивалентном уровне шума от 80 до 85 дБА, которые ранее были обозначены для некоторых отраслей.

В рамках анализа зарубежного законодательства были оценены и приведены в таблице 1 количественные значения уровней шума [1]. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что современное нормирование уровня шума в России — одно из самых строгих в мире.

**Таблица 1.** Сравнение нормативных значений уровня шума

<b>Страны</b>	<b>Экв. уровень звука за 8-ч смену, дБА</b>	<b>Основание</b>
ЕС	87	Директива ЕС от 06.02.2003 г. 2003/10/ЕС
США	90	Воздействие профессионального шума, стандарт № 1910.59 (OSHA)
	85	Критерии воздействия профессионального шума 1998 г. (NIOSH)
Китай	85	GBZ/T 189.8-2007
Канада	87	Уровни звука — Правила охраны труда и техники безопасности Канады, 2010
Россия	80	СанПиН 1.2.3685-21
Аргентина	85	Постановление №295: Гигиена и безопасность на рабочем месте, 2003

### **Литература**

1. **Suter, A.H.** Noise: Standarts and Regulation / A.H. Suter. — Текст: электронный // Encyclopaedia of Occupational Health & Safety. — URL: <https://www.iloencyclopaedia.org/part-vi-16255/noise/item/755-standards-and-regulations> (дата обращения: 06.11.2022).

*Р.А. Карданов, студ.; рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ СИЗ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

Средства индивидуальной защиты (далее — СИЗ) — являются обязательным атрибутом для обеспечения безопасности рабочих на предприятиях. Важность значения СИЗ переоценить невозможно. Это связано с тем, что обеспечиваются безопасные условия труда и является узаконенным требованием, которое обязывает работодателей выдавать СИЗ бесплатно в соответствии с установленными правилами [1].

Согласно действующему постановлению Министерства труда и социального развития Российской Федерации, СИЗ выдаются в соответствии с существующими климатическими поясами [2]. При анализе и рассмотрении изменения норм их обеспечения, немаловажным фактором является изменение климата. Этот фактор заслуживает отдельного внимания, так как в связи с глобальным повышением температуры в мире, требования к СИЗ могут значительно измениться.

Множество научных исследований, направленных на изучение данной проблемы, а также наблюдаемые и ожидаемые изменения климата в нашей стране, говорят о возможном изменении климатических поясов, а вместе с этим и процесс обеспечения работников СИЗ [3].

На основе анализа и исследовательского подхода к решению стоящей задачи, затрагивается вопрос пересмотра и усовершенствования существующих норм обеспечения СИЗ, учитывая глобальные изменения в современных реалиях.

Данный подход позволит эффективнее подбирать СИЗ, что в свою очередь обеспечит наиболее комфортабельное и безопасное выполнение своих трудовых обязанностей работниками предприятия.

### **Литература**

1. **Приказ** Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 N 290н (ред. от 12.01.2015) «Об утверждении Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты».
2. **Марийченко В.А.** «Обеспеченность работников средствами индивидуальной защиты» // Журнал «Кадастр недвижимости». 2008, №1(10). С. 84–90.
3. **Второй оценочный доклад** Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. С. 23, 56.

*Д.В. Архипов, студ.; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ БАЗЫ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

На данный момент глобальной экологической и климатической повесткой для большинства стран мира является снижение эмиссии парниковых газов. Российская федерация не осталась в стороне и подписала в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата Парижское соглашение, принятое в 2015 году, и направленное на удержание прироста глобальной средней температуры ниже двух градусов Цельсия по сравнению с доиндустриальным уровнем. Согласно [1], Российская Федерация должна к 2030 году создать условия для сокращения эмиссии парниковых газов до 70% в сравнении с уровнем 1990 года с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем.

В работе исследуются цели создания базы карбоновых полигонов на территории нашей страны. Поставленные задачи требуют не только обновления технологической базы и промышленности в России, направленного на снижение эмиссии парниковых газов, но также разработку и внедрение технологий контроля углеродного баланса. Данный вопрос решается созданием карбоновых полигонов, которые позволят учитывать выбросы парниковых газов, а также учитывать долю газов, поглощаемых лесами, площадь которых в России очень велика.

На данный момент в Российской Федерации действует 13 карбоновых полигонов. Предполагается, что в скором времени полигоны будут распространены по территории всей страны, что позволит получить данные о состоянии углеродного баланса на разнообразных типах местности — лесах, болотах, степях, торфяниках, а также на морских участках.

Результаты исследования показывают, что мировая климатическая повестка оказывает сильное влияние на вектор развития нашей страны. Основным трендом становится сокращение эмиссии парниковых газов и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Создаваемая в текущий момент база карбоновых полигонов направлена на изучение сугубо обособленных природных участков. Но также стоит задуматься о создании полигонов на территориях городов Российской Федерации, так как это даст возможность изучить их выбросы и поглощающую способность под влиянием различных секторов городского хозяйства.

### **Литература**

1. **Указ Президента № 666** от 08.11.2020 «О сокращении выбросов парниковых газов».

*М.О. Кузин, студ.; рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ РАССЛЕДОВАНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

Проблема производственного травматизма остается актуальной в настоящее время. Несмотря на положительную динамику с 2000 по 2020 г., в 2021 г. наблюдалось существенное увеличение несчастных случаев по всем показателям [1]. В связи с этим увеличивается количество случаев, подлежащих расследованию. Поэтому порядок и система расследования производственного травматизма нуждается в оптимизации. К примеру, во время распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19, для оптимизации процессов стоило создать адаптированную дистанционную платформу.

Оптимизация, поправки и улучшение порядка расследования несчастных случаев происходят постоянно. Так с 1 сентября 2022 г. вступило в силу положение, утвержденное приказом Министерства труда №233н от 20.04.2022 г., которое определяет ряд особенностей в расследовании случаев производственного травматизма. Так, нововведения затронули надомников, осужденных лиц и категории работников, перечисленных в подпункте «д» 2 пункта отменяемых особенностей [2]. Ещё одним исключением стали студенты и практиканты учебных заведений, несчастные случаи с которыми будут расследоваться по установленному ранее приказу Министерства науки и высшего образования РФ №602 от 27.06.2017 г. Появились особенности расследования несчастных случаев на объектах электроэнергетики и теплоснабжения, атомной энергии и железнодорожного транспорта, а также ещё в нескольких организациях. Изменения коснулись расследования случаев, произошедших со спортсменами, дистанционными работниками, работниками религиозных организаций [2].

Новый порядок расследования облегчит расследование несчастных случаев, как для работодателя, так и для надзорных органов.

### **Литература**

1. **Сайт «Росстат»**. Статистические данные по производственному травматизму-электронный ресурс — открытый доступ URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pr\\_travm.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pr_travm.xlsx) (дата обращения 09.11.22 г.)
2. **Приказ Минтруда России** от 20.04.2022 N 233н «Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве».

А.С. Войцицкий, студ.;  
рук. А.С. Федулова, ст. преп. (филиал МЭИ в г. Смоленске)

## УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Человек окружен различными видами радиоактивных излучений, которые имеют определенную природу и могут быть опасны. Рентгеновское, гамма-, бета-, альфа-, нейтронное излучение составляют понятие «ионизирующее излучение». Цель проекта: разработать устройство, отслеживающее радиационный фон с помощью недорогих элементов, с возможностью вывода на экран получаемых показателей.

В работе описывается разработка устройства контроля бета- и гамма-излучения. Проведен патентный поиск и обзор литературы по данной теме [1]. Разработаны структурная, функциональная, представленная на рис. 1, принципиальная схема устройства, модель.

Элементами устройства являются счетчик Гейгера-Мюллера, микроконтроллер Atmel SAM3X8E (МК), контроллеры-счетчики, ЖК дисплей ILI 9442. Контроллеры-счетчики используются для измерения времени воздействия гамма-, бета-излучения. Излучение фиксируется на расстоянии 5 метров от источника, что достаточно для определения наличия радиационного фона и определения безопасного расстояния от него. Для микроконтроллера Atmel SAM3X8E написано программное обеспечение в компиляторе Arduino IDE. Корпус устройства смоделирован в программе Solidworks.

В эксперименте проведена оценка количества откликов за минуту (показатель СРМ при нормальном фоне 0,1–0,3) и эквивалентной дозы (0,7–0,8 мкр/ч) радиации  $\mu\text{Sv/s}$  (в мЗв) от часов АЧХ середины 1950-х годов, в которых в качестве люминофора применялся радий-226. Установлено, что указанные показатели изменились на 10%, что подтверждает работоспособность устройства контроля бета- и гамма-излучения, структура которого предложена в работе.

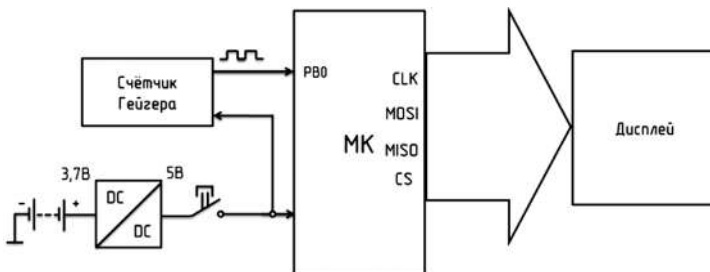


Рис. 1. Схема электрическая функциональная

### Литература

1. Кормановская Т.А. Контроль показателей радиационной безопасности зданий и сооружений, подлежащих сносу. Радиационная гигиена. 2022;15(2):42–51. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-42-51>

*Д.А. Мирошниченко, студ.;*  
*рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЗОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ О ПРОИЗОШЕДШИХ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЯХ ФЕДЕРАЛЬНЫХ СЛУЖБ**

Производственный травматизм является актуальнейшей проблемой в области охраны труда [1], а его уровень (в динамике) напрямую отражает эффективность мероприятий, направленных на улучшение последнего.

Деятельность Федеральных служб (Роструд и Ростехнадзор), которая, в том числе, направлена на снижение производственного травматизма систематически формируют рекомендации по снижению его уровня. Результативность данных рекомендательных мероприятий неразрывно связана с достоверностью и полнотой имеющихся исходных данных (далее — ИД), используемых при их разработке.

Представленный в статье обзор направлен на систематизацию имеющихся ИД о производственном травматизме у Федеральных служб.

Роструд, как контрольно-надзорный орган в области трудового законодательства, обладает большим количеством ИД, так как сфера ответственности Ростехнадзора распространяется только на смертельные и групповые несчастные случаи, что сокращает объем ИД.

Анализируя основные источники ИД [2–4] о производственном травматизме последние можно объединить в следующие группы: результаты исследований несчастных случаев, данные, получаемые в ходе проверок, информация об организации системы по управлению рисками и данные, получаемые из статистической отчетности.

### **Литература**

1. **Итоги федеральных статистических наблюдений.** Федеральная служба государственной статистики. URL: [https://rosstat.gov.ru/working\\_conditions#](https://rosstat.gov.ru/working_conditions#) (дата обращения: 05.11.2022).
2. **Приказ Минтруда** от 3 марта 2022 г. № 101 «О проведении общероссийского мониторинга условий и охраны труда». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728419774> (дата обращения: 05.11.2022).
3. **Приказ Роструда** от 1 февраля 2022 г. № 20 «Об утверждении форм проверочных листов для осуществления федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728255031> (дата обращения: 05.11.2022).
4. **Приказ Ростехнадзора** от 11 декабря 2022 г. № 518 «Об утверждении Требований к форме представления сведений об организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264160> (дата обращения: 05.11.2022).

*М.Р. Романова, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Приказ Минэнерго № 811 [1] с 7 января 2023 года отменяет действие ПТЭЭП [2]. Эксплуатация установок общего назначения: силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий, электродвигателей и пр. — передаётся под регулирование ПТЭЭСиС [3].

В связи с этим возникают проблемы. ПТЭЭП устанавливали конкретные обязательные требования по нормам испытаний, пожарной безопасности, частоте контроля показателей исправности оборудования и условиям для вывода в аварийный ремонт. С передачей этих вопросов под регулирование ПТЭЭСиС появляется неопределённость в трактовке таких формулировок, как: «в исправном состоянии», «в достаточном объёме», «по решению руководителя на основании данных о состоянии оборудования». Более того, с 6 марта 2023 года приказом Минэнерго № 1070 [4] устанавливаются новые, ещё более упрощённые ПТЭЭСиС.

Отсутствие конкретных требований не вызывало проблем, когда правила регулировали работу крупных сетевых компаний, имеющих собственные СТО. Однако для потребителя они оставляют свободу, которой тот может воспользоваться в целях экономии на качественном оборудовании, ремонтных и контролирующих мероприятиях. Это, в свою очередь, потенциально приведёт к росту числа аварий и травматизма.

Решение данной проблемы возможно реализовать средствами закона «О техническом регулировании». Создание технических регламентов для энергетического оборудования позволит установить необходимые минимальные обязательные требования по обеспечению сохранности здоровья и имущества, а также ресурсосбережению.

### **Литература**

1. **Приказ Минэнерго РФ** от 12.08.2022 № 811 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии».
2. **Приказ Минэнерго РФ** от 13.01.2003 № 6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей».
3. **Приказ Минэнерго РФ** от 19.06.2003 № 229 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации».
4. **Приказ Минэнерго РФ** от 04.10.2022 № 1070 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. N 757, от 12 июля 2018 г. N 548».



*Н.М. Мурадов, студ., М.С. Хвостова к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Солнечная энергетика показывает быстрые темпы развития с ожидаемым выходом к 2040 г. на уровень 6,2% мирового производства электроэнергии. Постепенное снижение удельных капитальных затрат приближает эту ветвь энергетике к рентабельности. Суммарная установленная мощность солнечных панелей в 2022 г. превысила планку в 1000 ГВт [1]. В России количество крупных солнечных электростанций к 2022 году превысило 67 единиц с суммарной мощностью больше 1,9 ГВт, что составляет 0,8% от мощности ЕЭС России.

В среднем срок службы солнечных панелей колеблется в интервале 20–30 лет, т.к. КПД при их эксплуатации за первые 10–12 лет снижается на 10%, а за 25 лет службы примерно на 20%. Начиная с 2030 г. ожидается большой объем отработанных солнечных панелей, которые относятся к отходам электроники и подлежат переработке. При худшем сценарии к 2050 г. в мире прогнозируемый объем отходов составит около 78 млн. тонн.

Для России вопрос утилизации солнечных панелей стоит пока не очень остро в силу малых объемов накопленных отходов. Тем не менее, перспективы развития российской солнечной энергетике невозможны без разработки стратегии комплексной утилизации солнечных панелей.

Основные задачи утилизации солнечных панелей — экономия природных ресурсов и снижение воздействия компонентов отработавших панелей на окружающую среду и здоровье человека.

Предлагаемый план мероприятий по реализации стратегии комплексной утилизации солнечных панелей:

1. Определение цели и характеристики стратегии комплексной утилизации солнечных панелей
2. Совершенствование законодательства в области обращения с отходами
3. Развитие научно-технических исследований утилизации солнечных панелей
4. Разработка вопросов экономики и логистики утилизации солнечных панелей
5. Управление качеством продукции из вторичных ресурсов

При разработке мероприятий используется положительный опыт зарубежных стран и лучшие российские практики и исследования.

### **Литература**

1. REN21. Renewables 2019 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2020.

*Е.А. Белова, студ.; рук. В.И. Дубинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОНИТОРИНГ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕРРИТОРИИ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ С ПИЛОТИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Актуальная в наши дни проблема глобального изменения климата и повышения температуры тесно связана с таким явлением как парниковый эффект. Вместе с углекислым газом и метаном в атмосферу поступают и многие другие, так называемые, малые газовые компоненты (далее — МГК).

В работе рассматриваются дистанционные методы регистрации МГК в атмосфере. Их можно разделить на две группы: активные и пассивные. Принципиальное отличие заключается в происхождении применяемого излучения. В случае активных методов — это искусственное лазерное излучение лидарных установок. В пассивных же методах излучение естественное [1].

В качестве основного метода определения концентрации характеристик МГК выбран лидарный метод дифференциального поглощения на двух длинах волн (далее — МДП<sub>(л)</sub>). В этом случае возможно определить концентрацию МГК вдоль трассы лидарного измерения зондируемого объёма атмосферы [1]. Для более чем одной зондируемой МГК выражение для мощности пришедшего на приёмник обратно рассеянного излучения для одной длины волны можно представить следующим образом:

$$P(\lambda, R) = C(\lambda) \cdot P_0(\lambda) \cdot \exp \left[ -2 \sum_{c=1}^C \int_0^R \chi_c \cdot N_c(r) \cdot \sigma_c(\lambda) \cdot dr - 2 \int_0^R \varepsilon(\lambda, r) dr \right]$$

где  $P(\lambda, R)$  и  $P_0(\lambda, R)$  — мощности пришедшего излучения и излучаемого лазерным источником;  $C(\lambda)$  — параметр, характеризующий общую эффективность применяемой системы зондирования в МДП(л) для длины волны  $\lambda$ ;  $c=1 \dots C$  — индекс зондируемой МГК;  $N_c(R)$  — концентрация поглощающих молекул  $c$ -той зондируемой МГК;  $\chi_c$  — индекс наличия  $c$ -той зондируемой МГК вдоль трассы зондирования;  $\sigma_{\text{пс}}(\lambda)$  — сечение поглощения  $c$ -той МГК на длине волны  $\lambda$ ;  $\varepsilon(\lambda, R)$  — показатель «фонового» ослабления.

Логарифмируя данное выражение, получим уравнение измерения с «шумами» — ошибками принимаемой модели и описания среды и ошибками измерения — в линейной форме, что позволяет перейти к описанию задачи наблюдения множества комбинаций МГК на наборе длин волн в постановке теории статистических решений.

### **Литература**

1. Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л. и др. под ред. Рождествина В.Н. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: Учеб. пособие для вузов // М.: Изд-во МГГУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 528 с.

*З.М. Даниленко, студ.;*  
*рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЗО С РЕГУЛИРУЕМОЙ УСТАВКОЙ**

Вопросы электробезопасности с ростом энергозависимости современной жизни становятся все более актуальными. Одним из основных технических средств обеспечения безопасности являются устройства защитного отключения (далее — УЗО), срабатывающие при прохождении через него заданной величины тока утечки. Таким образом, снижается риск поражения человека электрическим током [1].

Однако в ряде случаев, таких как внезапное затопление помещения, установленные УЗО, рассчитанные на величину уставки в 30 мА для сухого помещения, станут недостаточными для защиты человека в случае утечки, так как человек, находясь в затопленном помещении, становится более подверженным воздействию электрического тока. Это происходит из-за того, что во влажном состоянии сопротивление кожи человека значительно снижается и принимает значения от 10 до 20 Ом [2]. Данную проблему возможно решить путем снижения величины уставки используемого УЗО. Её минимизация, исходя из фактической утечки сети, позволит ускорить отключение потребителя от сети, что, в свою очередь, повысит электробезопасность.

Необходимо также учитывать, что установка дополнительного УЗО, имеющего меньшую величину уставки, не только усложняет монтаж и эксплуатацию всей системы защиты, но и повышает её стоимость. Кроме того, применение регулируемой минимизируемой уставки предотвращает возникновение пожаров, возникающих при длительном протекании тока на землю, что позволяет повысить пожарную безопасность.

В ходе работы предполагается разработка экспериментального образца УЗО с регулируемой уставкой. С его использованием планируется провести лабораторные эксперименты по численной оценке возможностей минимизации порога срабатывания по току утечки при нормальном и аварийном режимах работы.

Результатом исследования является обоснование целесообразности применения УЗО с регулируемой уставкой.

### **Литература**

1. **Скляров Н.Е., Рузняев Е.С., Волков В.В.** Электробезопасность: Учебное пособие для студентов по курсу «Электробезопасность» // — Пенза: Изд-во ПГУ, 2004.
2. **Душкин Н.Д., Монаков В.К., Старшинов В.А.** УЗО — устройство защитного отключения: Учебно-справочное пособие. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2004.

*А.Д. Петров студ.; рук. Е.В. Федорова, к.м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СОНЛИВОСТЬ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

Нарушение сна обучающихся серьезно влияет на множество сфер — начиная от личной успеваемости, заканчивая грамотным применением полученного материала в будущей трудовой деятельности, что может повлиять на результаты предприятия. В этом и состоит актуальность выбранной темы.

Причиной дневной сонливости (ДС) обучающихся может быть постоянное или единичное недосыпание (к примеру, в случае постоянного выполнения домашних заданий в ночное время), нарушение циркадного ритма/сдвиг периодов бодрствования и сна. Иными факторами, которые могут вызвать ДС, являются инсомния, гиперсомния, синдром апноэ сна, патологии мозга, недостаток микроэлементов, длительная депрессия, эндокринные заболевания, т.е. факторы, которые не обязательно зависят от учебного процесса, но могут быть следствием его косвенного влияния.

При регулярном недосыпании, а полноценным сон можно назвать, если он длится от 7 до 9 часов, и несоблюдении правил гигиены сна (слишком поздний отход ко сну или ранний подъем) развивается синдром недостаточного сна, что приводит к ухудшению работы мозга, нарушениям мышления и внимательности, страдают репродуктивная и иммунная системы, повышается риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и диабета [1].

Риск травматизма у обучающихся, которые уже заняты профессиональной деятельностью, плохо спавших ночью, увеличивается в 1,6 раз по сравнению с теми, у кого был дневной сон хорошего качества. И по статистике, около 13% производственных травм связаны именно с нарушениями жизненного цикла «сон-бодрствование» у человека. Чрезмерная сонливость снижает производительность труда и бдительность, человеку требуется больше времени на принятие решений, что просто недопустимо в ряде ответственных профессий, где неверно принятое решение может привести к несчастному случаю или летальному исходу. Опасность сонливости заключается еще в том, что люди, страдающие ею, могут не осознавать, что уже имеют дело с последствиями.

Для определения нарушений сна рекомендуется использовать полисомнографию, актиграфию или различные опросники.

### **Литература**

1. **Ковальзон В.М.** Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон» — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 239 с.

*А.С. Симахин, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ РЕФОРМЫ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Итоги реформы контрольно-надзорной деятельности нашли свое отражение в принятом Федеральном законе от 31.07.2020 № 248-ФЗ, в котором устанавливается новый порядок организации и осуществления государственного и муниципального контроля (надзора) [1].

В работе рассмотрена необходимость дальнейшего развития реформы контрольно-надзорной деятельности в следующих сферах государственного контроля (надзора):

- сфера федерального государственного энергетического надзора;
- сфера федерального государственного надзора в области безопасности гидротехнических сооружений.

В рамках работы проведен сравнительный анализ в осуществлении государственного контроля (надзора) в периоды до и после принятия Федерального закона от 31.07.2020 № 248-ФЗ. Анализу подлежали следующие данные:

- бюджетные расходы на финансовое обеспечение исполнения функций по осуществлению государственного контроля (надзора);
- объем исполненных в отчетном периоде контрольных функций;
- выделение бюджетных средств в расчете на объем исполненных контрольных функций;
- средняя нагрузка на одного инспектора по фактически выполненному в отчетный период объему функций по контролю;
- случаи причинения ущерба юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, в отношении которых осуществлялись контрольно-надзорные мероприятия;
- принятые Ростехнадзором меры реагирования по фактам выявленных нарушений.

По результатам проведенного анализа были сделаны сравнительные итоги по двум рассмотренным периодам и вывод о необходимости дальнейшего развития реформы контрольно-надзорной деятельности в энергетике.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 31.07.2020 N 248-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации».
2. Доклады об осуществлении государственного контроля (надзора) за период 2015–2021 год и об эффективности такого контроля (надзора). [Электронный ресурс] URL: <https://www.gosnadzor.ru/activity/control/folder/>.

*А.В. Катаев, студ.; рук. А.С. Ванин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТКАЗЫ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Эффективность работы оборудования станций и подстанций в нормальных условиях эксплуатации непосредственно определяется человеческим фактором, который проявляется в характере и степени воздействия человека на этапах жизненного цикла отдельных устройств. Именно поэтому необходимо уделить внимание определению состава человеческих факторов, влияющих на надежность работы электросетевого оборудования.

В связи с этим, целью данной работы являлось исследование человеческих факторов и необходимость определения всех отказов электрооборудования, к которым может привести каждый из факторов ввиду его наличия или отсутствия.

Для учета влияния человека на надежность оборудования выделены, проанализированы и распределены по всем этапам жизненного цикла основные факторы. Проведена оценка влияния человеческого фактора на надежность.

Технические системы становятся взаимосвязанными только благодаря наличию такого основного звена, как человек. Выяснилось, что примерно 20–30% отказов прямо или косвенно связаны с ошибками человека; 10–15% всех отказов непосредственно связаны с ошибками человека. Из множества факторов были выделены и сгруппированы основные, которые имеют большее влияние на безошибочность действий человека: степень подготовки специалиста, психологические особенности человека, перегрузка информацией, дефицит времени, «сенсорный голод» (монотонная работа увеличивает частоту ошибок при длительном выполнении), физические возможности, рабочие условия, познавательные (когнитивные) ограничения [1].

По результатам распределения факторов было определено, что их наибольшее количество и степень повторяемости наиболее высокие на этапе эксплуатации из-за его цикличности и продолжительности, в то время как обратная ситуация происходит на этапе наладки. Как следствие, этап эксплуатации необходимо в дальнейшем рассмотреть более детально для полного учета всех ситуаций влияния человека и всех вариантов отказа оборудования.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р МЭК 62508–2014.** Менеджмент риска. Анализ влияния на надежность человеческого фактора. М.: Стандартинформ, 2015. 65 с.

*Т.А. Кирдий, студ.; рук. А.В. Мордвинова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ВЫТЯЖНОЙ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ, СОВМЕЩЁННОЙ С ВЫТЯЖНОЙ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ**

При возникновении пожара большую опасность для жизни человека представляют не только открытое пламя, но и продукты горения, которые образуются в результате горения современных строительных конструкций, отделочных материалов, мебели. Около 70% смертей наступает в первые минуты пожара в следствии воздействия дыма и токсичных продуктов горения на организм человека. Эти угрозы требуют наличия противодымной вентиляции, которая позволяет снизить риски гибели при пожаре.

Основной руководящий документ, который регламентирует проектирование противодымной вентиляции является [1]. Противодымная вентиляция состоит из 2 систем: система дымоудаления и системы приточной противодымной вентиляции.

Система дымоудаления в общем случае состоит из: отдельного воздуховода, клапана и вытяжного вентилятора. Настоящая работа посвящена особенностям проектирования дымоудаления совмещённой с системой вытяжной общеобменной вентиляции. Применение данного решения регламентируется п.п. 7.18 [1]. Отличительной особенностью данного решения является использование воздуховодов общеобменной вентиляции для дымоудаления. Это в свою очередь положительно влияет на своевременность обнаружения неисправностей в воздуховоде. Также совмещение систем позволяет: увеличить свободное пространство, ускоряет монтаж, снижается количество используемого материала, что делает данную систему технически и экономически целесообразным решением. Существуют различные технические решения реализации такой системы, например: использование воздуховода или части общеобменной вентиляции для системы вытяжной противодымной вентиляции с установкой противопожарных клапанов или применение вытяжного вентилятора двойного назначения [2].

### **Литература**

1. СП 7.13130.2013 Свод правил Отопление, вентиляция и кондиционирование Требования пожарной безопасности
2. Требования пожарной безопасности Отопление, вентиляция и кондиционирование [Электронный ресурс] URL:<http://vniipo-help.ru/index.php?id=principalnye-shemy-i-resheniya-po-protivodymnoj-ventilyacii-podzemnoj-avtostoyanki> (дата обращения 09.11.2022)

*Х.А. Емкужев, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.д., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ САМООБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

В рамках проводимой в последние годы реформы контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации выполнен переход к риск-ориентированному подходу в организации надзорной деятельности.

Данная мера повысила результативность и эффективность, снизила регулирование и напряженность контрольно-надзорной деятельности в сфере энергетики. С другой стороны, на длительный период времени вывело из сферы надзора значительное количество объектов, среднего, умеренного и низкого категория риска, составляющих абсолютное большинство поднадзорных объектов, в соответствии ФЗ-248. Вследствие этого контролируемое лицо акцентирует внимание деятельности организации, зачастую в ущерб энергетической безопасности объекта.

Выпадая из поля зрения надзорных органов на таких объектах по-прежнему сохраняется вероятность возникновения угрозы жизни и здоровью людей, разрушения оборудования и сооружений. Для выявления риска возникновения аварийных ситуаций для таких объектов рекомендуется акцент перенести на профилактическую работу.

Предлагается рекомендовать данным организациям проводить самообследование, предусмотренное ФЗ-248. В свою очередь, надзорные органы должны вести разъяснительную работу с контролируемыми лицами, информируя их о положительных моментах в проведении самообследования. Если по итогам самообследования компания или индивидуальный предприниматель получит высокую оценку, то сможет принять декларацию соблюдения обязательных требований.

Самообследование предполагает стимулирование добросовестности, поощрение тех, кто честно соблюдает обязательные требования. Для этого четко должен быть определен порядок оценки добросовестности, виды мер ее стимулирования.

Подводя итог вышеизложенному можно констатировать, снижение давления на бизнес, связанное с уменьшением количества плановых проверок, перенесением акцента на профилактические мероприятия. Однако, предстоит еще большая работа для того, чтобы самообследование стало широко применяемой самостоятельной автоматизированной оценкой по соблюдению обязательных требований.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 31.07.2020 N 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации».



А.А. Дронова, студ.; рук. А.С. Козодаев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОСОБЕННОСТИ МНОГОСТАДИЙНОГО ПЕРЕХОДА ПРИ ВВЕДЕНИИ ВТОРОГО РАБОЧЕГО РАСТВОРА

Многостадийный метод очистки хлопьев активного ила, предложенный Б.С. Ксенофонтовым, описывает процесс флотационного извлечения загрязнений в три стадии: А, В, С [1].

Стадия А описывает собой не сформировавшиеся флотокомплексы, связь между частицей загрязнения и пузырьком воздуха на этом этапе не образуется. Достигая стадии В пузырьки воздуха слипаются с хлопьями активного ила и образуют прочные флотокомплексы, которые всплывают в пенный слой. Всплывшие на поверхность флотокомплексы описываются третьей стадией (стадией С) очистки воды.

Одним из существенных недостатков напорной флотации является маленький размер пузырьков воздуха 15–30 мкм. Такой размер позволяет очищать лишь тонкодисперсные взвешенные частицы менее 10 мкм, что достаточно неэффективно для очистки сточных вод.

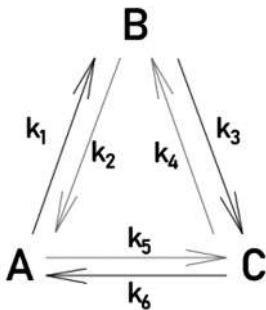


Рис. 1. Схема стадийных переходов флотационного процесса очистки

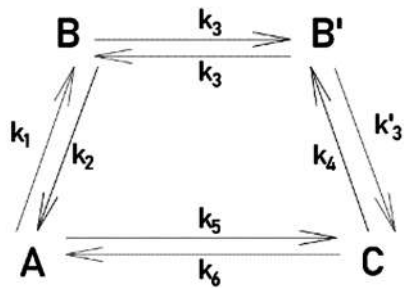


Рис. 2. Схема стадийных переходов при введении второго рабочего раствора

Решить данный недостаток возможно конструктивными способами, например, установкой флотационной камеры блока тонкослойного отстаивания или фильтра [2]. Но более эффективным методом считается интенсификация сточных вод в флотационной камере.

При введении второго рабочего раствора (углекислого газа) можно рассмотреть дополнительное состояние пузырька В', при котором в пузырьке сформировавшегося флотокомплекса выделяется углекислый газ. Таким образом, новая константа стадийного перехода отражает зависимость роста пузырька в процессе введения газа.

### Литература

1. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. М.: Химия, 1992.
2. Школьная Е.И., Козодаев А.С. Интенсификация напорной флотации путем введения двух рабочих растворов / *Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн.* 2016. № 9 (27).

*А.Н. Зенин, студ.; рук. А.С. Ванин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЕВ НАНЕСЕНИЯ УЩЕРБА ЧЕЛОВЕКУ В ПОСЛЕДСТВИИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Одной из национальных целей стратегического развития Российской Федерации на период до 2024 года является повышение надежности и качества энергоснабжения потребителей до уровня, сопоставимого с лучшими иностранными аналогами [1].

За рубежом важной частью программы повышения надежности и качества электроснабжения является исследование последствий от отказов электросетевого оборудования и оценка ущерба потребителей основных категорий надежности. Проводя анализ зарубежных систем оценивая последствий и ущерба от отказов, Лесных А.В. и Лесных В.В. отмечают, что оценка последствий и ущерба от перерыва в электроснабжении в значительной степени основана на результатах социологических опросов среди потребителей электроэнергии, пострадавших от аварийных и плановых отключений. На основе систематизированных данных по оценке прямого ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении основных категорий потребителей, строятся усредненные зависимости удельного ущерба от длительности отключения в электроснабжении. Полученные зависимости могут быть адаптированы к условиям России и использоваться для прогноза ожидаемого ущерба [2]. Также в своем анализе зарубежных методик оценки последствий от нарушения электроснабжения Карпов М.В. выделяет в числе основных использование социальных опросов [3].

Таким образом, на основе анализа работ по данной теме можно сделать вывод, что проведения подобных социальных опросов потребителей России и дальнейшее исследование собранных данных, поможет улучшить качество и надежность электроснабжения, путем лучшего прогнозирования последствий и ущерба от отказов электросетевого оборудования.

### **Литература**

1. **Распоряжение** Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».
2. **Лесных А.В., Лесных В.В.** Оценка ущерба и регулирование ответственности за перерывы в электроснабжении: зарубежный опыт // Проблемы анализа риска. 2005. № 1. С. 33–49.
3. **Карпов М.В.** Методика оценки ущерба от отказа электросетевого оборудования в системе управления производственными активами // Вестник омского университета. серия: экономика. 2018. № 3 (63). С. 29–37.

*А.Н. Гуреев, студ.; рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ИНДИКАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ НА ТЭС**

В рамках выполнения Парижского соглашения по изменению климата в России реализуется программа по сокращению выбросов парниковых газов, прежде всего углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Одним из основных антропогенных источников  $\text{CO}_2$  является теплоэнергетика. В качестве реальных мер по снижению выбросов  $\text{CO}_2$  на ТЭС используется переход с твердых топлив на сжигание природного газа, повышение эффективности генерирующего оборудования.

Целью работы являлась определение для ТЭС индикативных показателей массовых выбросов  $\text{CO}_2$  при сжигании различных видов топлива в расчете на 1 тонну условного топлива (т  $\text{CO}_2$ /т.у.т), а также на единицу производимой тепловой (т  $\text{CO}_2$ /Гкал) и электрической (т  $\text{CO}_2$ /МВт·ч) энергии. Это позволит определить долю планируемого «углеродного налога» при производстве энергии и произвести выбор наилучших доступных технологий не только для снижения выбросов маркерных загрязняющих веществ, но также с учетом выбросов парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ), т.е. улучшит экологические показатели ТЭС.

Расчеты показали, что удельные выбросы  $\text{CO}_2$  при сжигании основных российских углей составляют 2,76–3,31, а природных газов 1,5–1,61 т/т.у.т. Выбросы  $\text{CO}_2$  при выработке электрической энергии составили при сжигании углей 0,95–1,13, и при сжигании природного газа 0,51–0,55 т/МВт·ч. Таким образом переход со сжигания угля на природный газ позволяет при сопоставимых условиях снизить выбросы  $\text{CO}_2$  почти на 50%.

В ближайшее время во многих странах будет введен «углеродный налог» в качестве платы за ущерб климату, вызванному выбросами  $\text{CO}_2$  в атмосферу, и стимула для снижения потребления ископаемого топлива. В России величина углеродного налога пока не определена, а Евросоюзе он составляет 60 евро/т  $\text{CO}_2$  (примерно 3600 руб./т). При среднем тарифе на электроэнергию для населения РФ 6000 руб/МВт·ч введение европейского углеродного налога приведет к росту этого тарифа в 1,33 раза для газовых ТЭС и в 1,6 раз для угольных ТЭС только за счет сжигаемого топлива без учета всей технологической цепочки производства и транспорта электроэнергии.

Средняя себестоимость электроэнергии на российских ТЭС составляет примерно 1000 руб./МВт·ч. Соответственно введение европейского углеродного налога увеличит себестоимость электроэнергии почти в 3 раза на газовых ТЭС и в 4,6 раз на угольных ТЭС.

*А.В. Матыцин, студ.,; рук. Н.В. Васильева, ассист. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМА ВОПРОСОВ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ИХ АКТУАЛИЗАЦИИ В РОССИИ**

В настоящее время в России создана система нормативно-технических документов по различным аспектам дизайна и эргономики, которая включает в себя системы стандартов технической эстетики и эргономики, методические указания и рекомендации, ГОСТы и руководящие документы. В области охраны труда остро стоит проблема профзаболеваемости специалистов вследствие недостаточного обеспечения эргономики рабочего места [1]. Необходима актуализация существующих нормативно-правовых актов по нормам условий труда.

В работе рассмотрены действующие российские стандарты в области требований в эргономике к рабочему месту. Фрагмент анализа представлен в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты сравнения нормативно-правовых актов РФ в области эргономики рабочего места

Название нормативно-правового акта	Требования
ГОСТ 12.2.032-78 [2]	П. 4.4. Средства отображения информации нужно располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 60^\circ$ от нормальной линии взгляда
ГОСТ Р ИСО 9241-3-2003 [3]	П. 5.2. ВДТ устанавливается так, чтобы участки экрана можно было наблюдать под углом между горизонталью и линией, проведенной на $60^\circ$ ниже горизонтали

Наглядно показано, что даже действующие актуализированные стандарты имеют разногласия в плане угла наблюдения, и можно сделать вывод, что в настоящее время требуется работа над стандартами эргономики рабочего места в РФ, в том числе с использованием международных требований.

### **Литература**

1. **Вадулина Н.В., Галлямов М.А., Девятова С.М.** Профессиональная заболеваемость в России: проблемы и решения // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. № 3.
2. **ГОСТ 12.2.032-78** Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. **ГОСТ Р ИСО 9241-3-2003** Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 3. Требования к визуальному отображению информации.

*А.М. Иванченко, студ. (МГТУ им. Н.Э. Баумана);  
рук. И.Ш. Хасанов, к.ф.-м.н. (НТЦ УП РАН, Москва)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ**

Загрязнение воздуха оказывает серьезное влияние на здоровье людей. По оценкам ВОЗ, ежегодно загрязнение воздуха приводит к миллионам преждевременных смертей по всему миру. При этом 90% из них приходится на страны с низким или средним доходом. Научные данные свидетельствуют о том, что загрязнение воздуха внутри помещений может быть выше, чем загрязнение воздуха на улицах крупных и промышленно развитых городов [1]. В настоящее время для обнаружения в воздухе опасных веществ используют газоанализаторы мгновенного действия. Но их высокая стоимость препятствует широкому их использованию. Альтернативой может стать сенсор, непрерывно анализирующий в пассивном режиме среднесуточные отклонения от нормального состава воздуха в помещении [2]. Принцип его работы состоит в том, что токсичные вещества при конденсации на металлических поверхностях образуют слабые растворы кислот, которые приводят к появлению коррозионной пленки. Скорость и характер её роста можно определять методом поверхностного плазмонного резонанса, делая выводы о наличии в воздухе токсичных веществ.

Для разработки предлагаемого индикатора необходимо провести оптимизацию его чувствительности. Она в значительной мере определяется толщиной металлического напыления  $d$ , длиной волны облучения  $\lambda$  и углом резонанса  $\theta$ . На практике же мы можем считать параметры индикатора оптимальными при значении коэффициента отражения  $R$  близким к нулю. С целью поиска комбинации параметров, удовлетворяющих условию оптимизации, был выбран метод Монте-Карло. Для обнаружения хлора в воздухе мы оптимизируем чувствительность сенсора для определения показателя преломления хлорида серебра  $n_3 \in [1.9004; 2.0668]$ ,  $\lambda$  ограничиваем областью излучения красных светодиодов [600; 700] нм, а  $d \in [40; 60]$  нм.

### **Литература**

1. **Leygraf C., et al.** Atmospheric corrosion // Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016. 374 p.
2. **Хасанов И.Ш., Иванченко А.М.** Разработка индикатора накопленного эффекта малых концентраций вредных веществ в воздухе на основе поверхностного плазмонного резонанса // Методы и средства научных исследований: Мат. 2-й н.-т. конф. М: НТЦ УП РАН, 2021. С. 8–12.

*В.В. Дмитренко, студ.;*  
*рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫБРОСОВ ЗОЛЫ И ДИОКСИДА СЕРЫ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ТЭС**

В последние годы в соответствии с новым природоохранным законодательством ведется активная работа по разработке и актуализации отраслевых информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ), включающих перечень маркерных загрязняющих веществ (ЗВ), технологические показатели (ТП) выбросов ЗВ и перечень НДТ для их обеспечения.

Для угольных ТЭС основную проблему представляют выбросы в атмосферу золы и диоксида серы  $SO_2$ , снижение которых возможно только за счет очистки газов. В качестве ТП выбросов ЗВ для нового энергетического оборудования приняты нормативы ГОСТ Р 50831-95. Проблема, однако, заключается в том, что 90% оборудования на российских ТЭС введены в эксплуатацию до 2001 г. и потому не оснащено современными воздухоохранными технологиями.

Целью работы являлись анализ существующих технологий золо- и сероочистки газов и разработка рекомендаций по их эффективному применению для удовлетворения реально достижимых ТП выбросов золы и  $SO_2$  на котлах, введенных до 2001 г. Для оценки количественного уровня ТП по выбросам этих ЗВ, рассмотрены достижимые уровни их выбросов в случае применения различных технологий золо- и сероочистки.

Обработка результатов анкетирования и анализ НДТ показали, что для этих котлов за счет модернизации золоуловителей (ЗУ) ТП выбросов золы могут быть установлены на уровне  $600 \text{ мг/м}^3$  для малозольных и  $900 \text{ мг/м}^3$  — для высокозольных углей. Для этого в качестве НДТ золоулавливания рекомендуются в основном рукавные фильтры и электрофильтры. Мокрые ЗУ могут применяться только для малозольных углей. Сухие батарейные циклоны уже не могут обеспечить установленные ТП выбросов золы и потому исключены из перечня НДТ.

Соответственно ТП выбросов  $SO_2$  для старых котлов могут быть приняты в диапазоне от 1300 (для малосернистых) до  $3000 \text{ мг/м}^3$  (для высокосернистых углей). Для снижения выбросов  $SO_2$  рекомендуется использование топлива с низким содержанием серы, мокрых золоуловителей по двойному щелочному способу и полусухой сероочистки.

Установление предложенных ТП выбросов золы и диоксида серы позволит не менее чем на 30% снизить выбросы ЗВ в атмосферный воздух от угольных ТЭС, что является основной задачей выполнения федерального проекта «Чистый воздух».

*В.А. Варигина, Н.А. Татарникова, студенты;  
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **О КОЛИЧЕСТВЕ ВОДЯНОГО ПАРА, ИСПАРЯЕМОГО В АТМОСФЕРУ МОСКВЫ**

Количество испаренной влаги с поверхности г. Москва влияет на климатические характеристики города и зависит от различных факторов. Естественное испарение влаги в атмосферу в среднем за год составляет величину 400–500 мм. Существует также антропогенный фактор увеличения выбросов водяного пара: работа ТЭЦ, котельных, эксплуатация транспортных средств, использование градирен на ТЭЦ.

На территории центральной части Москвы площадью 1081 км<sup>2</sup> расположены около 60 градирен башенного и вентиляторного типов, процесс работы которых неизбежно связан с испарением влаги и выбросами водяного пара в атмосферу.

Ранее специалисты «НИУ «МЭИ» провели расчеты количества испаряемой влаги в год при работе градирен, сжигании топлива на ТЭЦ, котельных и автотранспортом [1], однако не приведено сравнение количественных характеристик естественного испарения и антропогенных выбросов.

В нашем исследовании получены данные о естественном испарении влаги и выявлены соотношения антропогенного добавка к общим выбросам водяного пара с поверхности г. Москва.

**Таблица 1.** Результаты расчетов

<b>Источник выбросов</b>	<b>Кол-во выбросов водяного пара, млн т/год</b>
Природные объекты	515,0
Градирни	62,6
ТЭЦ и котельные	16,0
Автотранспорт	12,0
Итого	605,6

Из таблицы 1 следует, что 10% всех выбросов водяного пара в атмосферу с поверхности Москвы составляют испарения при работе градирен.

### **Литература**

1. **Гашо Е.Г., Гужов С.В., Белобородова А.С., Гукова Н.В.** Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы // Надежность и безопасность энергетики. 2019. Т. 11. № 4. С.8.

*А.Е. Калачева, студ.;*  
*рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ПЕРСОНАЛ ПОДСТАНЦИИ**

Из-за широкого распространения различных электроустановок и оборудования основное воздействие на организм человека оказывают электромагнитные поля (ЭМП) промышленной частоты ПЧ [1]. Так, при работах на подстанциях (ПС) персонал подвергается воздействию высоких уровней ЭМП, часто превышающих предельно допустимые (ПДУ). Следовательно, большую актуальность имеет вопрос сохранения здоровья работников при воздействии вредных и опасных факторов производственной среды.

На открытом распределительном устройстве (ОРУ) коммутационные аппараты, устройства защиты автоматики, измерительные приборы, соединительные шины являются источниками высоких уровней ЭМП.

По современным представлениям основную опасность несёт наведённый в теле человека ток [1]. Для защиты персонала от неблагоприятного влияния ЭМП возможно применять защиту: временем, расстоянием и путем применения коллективных или индивидуальных средств защиты [2]. На данный момент, ввиду сложной компоновки электрооборудования и ограничения территории ОРУ, оборудование располагается достаточно близко друг к другу, и возможность точного расчета ЭМП ПЧ осложнена.

Ограничение уровня воздействия на персонал ПС возможно путём проектирования территории для перемещения работников — дорожек для персонала, на максимальном расстоянии от оборудования ПС. Для этого с помощью расчетов или измерений на ОРУ выделяют зоны воздействия различных уровней ЭМП, т.е. осуществляется построение карт электрических полей для распределительных устройств ПС.

Следовательно, необходимо создание областей контролируемого доступа вокруг источника ЭМП — расположение рабочих мест и маршрутов передвижения персонала на расстоянии от источников, обеспечивающих соблюдение ПДУ, а также использование ограждений и предупреждающих плакатов для обозначения таких зон.

### **Литература**

1. **Рубцова Н.Б.** Обеспечение электромагнитной безопасности производственной и окружающей среды. Проблемы и перспективы / Н.Б. Рубцова, Ю.П. Пальцев, Л.В. Походзей, А.Ю. Токарский, М.Л. Леонов // Известия Самарского научного центра РАН. — 2009. — Т.11. — №1(6). — С. 1366–1369.
2. **Приказ Минтруда России** от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».



*С.А. Мирошниченко, студ.;*  
*рук. М.С. Хвостова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ЦЕЛЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА**

Территории Российской Федерации в силу ее большой площади и различных природно-климатических условий подвержена воздействию разнообразных чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС) природного характера.

Анализ основных нормативных правовых актов [1,2] в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее — ЗНТЧС) показал, что основными условиями снижения размеров ущерба и потерь от ЧС являются мониторинг и прогнозирование опасностей и угроз возникновения ЧС.

Из-за характерных особенностей ЧС природного характера, таких как скорость развития, внезапность возникновения, неполнота исходных данных, тяжесть последствий, для прогнозирования ЧС вместо традиционных эмпирических методов предлагается применять математическое моделирование (далее — ММ), которое во многих случаях является единственно доступным [3].

Однако, несмотря на важность ММ для анализа и прогнозирования ЧС природного характера, отмечается недостаточность нормативно-правовой базы, регулирующей данную область исследования. Это может свидетельствовать о недооценке метода ММ в качестве одного из основных инструментов мониторинга и прогнозирования ЧС.

Применение ММ даёт возможность исследовать множество сценариев возникновения и развития ЧС природного характера и прогнозировать их последствия достаточно быстро и с минимальными затратами на исследования.

Таким образом, ММ может стать важным инструментом для повышения эффективности защитных мероприятий в области ЗНТЧС.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. **Указ Президента РФ** от 11 января 2018 г. № 12 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года».
3. **Шаптала, В.Г.** Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие / В.Г. Шаптала, В.Ю. Радоуцкий, В.В. Шаптала; под общ. ред. В.Г. Шапталы. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. — 166 с.

*К.А. Кобозева, студ.; Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ТИПОВ ЭКОСИСТЕМНЫХ ЭФФЕКТОВ**

С каждым годом влияние климатических изменений на экосистемы и человека становится все сильнее, негативно сказываясь на качестве жизни и здоровье населения, поэтому обеспечение устойчивости к таким процессам является одной из важнейших задач климатической адаптации. Городская среда значительно отличается от условий сельской местности, что влечет за собой серьезные перемены экологической обстановки, в то время как рост и расширение городских «зеленых зон» различного типа будет способствовать нейтрализации климатических изменений в городе за счет высокой поглощающей способности древесных, кустарниковых и травянистых насаждений [1]. В таблице 1 представлены основные экосистемные эффекты и оценка воздействия зеленой инфраструктуры на каждый из них по трехбалльной шкале, где 1 — это низшая оценка, а 3 — высшая. Такая качественная характеристика говорит о том, что данный вопрос изучен не до конца и требует дополнительных исследования для создания благоприятной городской среды и понимания, какой вклад каждый из параметров вносит в экосистему.

**Таблица 1.** Воздействие зеленой инфраструктуры на экосистему

Экосистемные эффекты	Зеленые крыши/стены	Деревья вдоль улиц	Реки и речные долины	Леса	Луга и пустоши
Сокращение риска наводнений	2	1	3	2	2
Снижение эффекта острова тепла	2	2	2	3	1
Сокращение потребностей в энергии	2	2			1
Снижение атмосферного загрязнения / шума		2		2	
Сохранение биоразнообразия	2	1	3	3	3
Обеспечение условий для отдыха и рекреации	1		2	3	3

### **Литература**

1. **Е.Г. Гашо** Приоритеты климатической адаптации мегаполиса: люди, природа, техника. Алгоритм, стратегия и план действий. Научно-методическое издание. Москва, 2019 г.

*А.О. Кулешова, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ**

Молния представляет собой искровой разряд в атмосфере, возникающий между землей и грозовым облаком. Сила тока, протекающего в молнии в среднем составляет 30 кА, а разность потенциалов составляет до 1,3 ГВ. При попадании разряда такой мощности в сооружения и элементы возможно возникновение следующих негативных факторов: возгорание; выход из строя электрических цепей; поражение людей и животных

Канал молнии (стример), проходит по ионизированному участку в атмосфере, который может возникать из-за различных факторов, таких как солнечная радиация, электрические поля и т.д. Для защиты от молнии необходимо создать условия, обеспечивающие попадание ее в место, нивелирующее негативные последствия — в молниеотводы.

Принципиальным отличием активной молниезащиты является то, что система сама инициирует удар молнии в молниеприемник. По мере приближения грозового облака разность потенциалов между ним и землей растет, за счет чего в конденсаторе, интегрированном в молниеприемник накапливается заряд.

После того, как напряжение на конденсаторе достигнет величины пробоя, обычно порядка 200 кВ, конденсатор разряжается и формируется восходящий лидер, пересекающийся с нисходящим лидером, сформированным за счет заряда облака, и происходит разряд. Принципиально это технически очень простое устройство, работающее автономно и не требующее дополнительных систем управления, обладающее достаточной надежностью, компактностью, и обладающее большей зоной защиты чем пассивный молниеприемник.

Применение активных молниеотводов снижает риск возникновения пожара, обеспечивает защиту людей и имущества от разрушительного воздействия молнии.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка мер по снижению потребления электроэнергии в общественных зданиях на базе цифрового мониторинга параметров электроэнергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

### **Литература**

1. **Королев Д.С., Калач А.В.** Сравнительный анализ традиционной и активной молниезащиты // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2015. — № 3 (16). — С. 76–86.
2. **Базелян Э.М.** Активны ли активные молниеотводы? [Электронный ресурс]. — [https://zandz.com/ru/biblioteka/statya3/aktivny\\_li\\_aktivnyye\\_molnieteotvody/](https://zandz.com/ru/biblioteka/statya3/aktivny_li_aktivnyye_molnieteotvody/)

*Л.К. Зеленская, студ.;*  
*рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ МЕТОДИКИ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

Одна из причин обострения проблемы глобального потепления — увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере. Благодаря фотосинтезу природные экосистемы способны компенсировать эмиссию углекислого газа. В 2020 году Президент РФ издал Указ № 666 об обеспечении необходимого уровня сокращений эмиссий парниковых газов за счет максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем. Методика расчета поглощающей способности экосистем представлена в Распоряжении Минприроды РФ № 20-р [1], которая с момента выхода в 2017 году подвергалась серьезным доработкам. Первоначально методика содержала методики расчета только для лесных массивов, позже Распоряжениями № 41-р [2] и № 3-р [3] были добавлены расчетные методики для ранее не представленных типов лесов, даже резервных и других экосистем, также добавился расчет эмиссий углерода от лесных пожаров и других бедствий. Расчет выбросов парниковых газов от антропогенных источников необходимо проводить по отдельному документу Приказу Минприроды № 300, что вызывает затруднения при комплексной оценке углеродного баланса. Для решения данной проблемы подготовлен новый Приказ № 371 [4], вступающий в силу с 1.03.2023 года, он объединяет методики количественного определения объемов выбросов и поглощений парниковых газов. Уточнен перечень исходной информации для количественного определения. Объем поглощения рассматривается как баланс между объемом выбросов парниковых газов из источников и объемом их поглощения, происходящими в окружающей среде в результате природных и антропогенных процессов.

### **Литература**

1. **Распоряжение** Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р, О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов.
2. **Распоряжение** Минприроды России от 27.12.2018 № 41-р, О внесении изменений в методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов.
3. **Распоряжение** Минприроды России от 20.01.2021 № 3-р, О внесении изменения в методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов.
4. **Приказ** Минприроды России от 27.05.2022 № 371, Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов.

*В.В. Нефедов, студ.;*  
*рук. М.В. Рябчицкий, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Электричество является основным источником энергии, без которого невозможно представить жизнь современного общества. Человек может оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и другим причинам, например, разряд молнии. Для предотвращения и устранения опасности поражения током в случае прикосновения к доступным проводящим частям различного оборудования применяется защитное заземление.

В настоящее время различают следующие системы заземления:

- Система TN — система с глухозаземленной нейтралью, которая в свою очередь делится на TN-C, TN-S, TN-C-S,
- Система IT;
- Система TT [1].

В системе TN-C нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводник объединены в один, поэтому данная система имеет существенный недостаток: в случае обрыва или обгорания данного проводника система теряет свои защитные свойства. Данная система заземления сохранилась в старых жилых домах, а также применяется в сетях уличного освещения.

В системе TN-S нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводник разделены. Данная система является усовершенствованной версией TN-C. Данную систему следует использовать там, где необходима высокий уровень электробезопасности.

Поскольку система TN-S, обеспечивающая высокую защиту, является дорогостоящей, была изобретена система TN-C-S. В данной системе заземления нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводник разделяется на два при входе в здание. Система имеет недостаток — при повреждении PEN провода до разделения на два, на проводнике PE, следовательно, на всех корпусах появится опасное напряжение. Данная система широко используется при условии, что используются специальные меры защиты PEN проводника до точки его разделения.

Для защиты загородных домов чаще всего используется система TT. Нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводник заземлены независимо друг от друга.

Для защиты сетей в медицинских сооружениях, крупных энергетических объектах, то есть там, где необходимо бесперебойное снабжением тока, применяется система IT, отличительной особенностью которой является отсутствие нулевого рабочего (N) проводника.

### **Литература**

1. **Правила** устройства электроустановок. — 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999–2005.

*Д.А. Шамин, А.А. Лейтейзин, И.Ю. Изотиков, студенты;  
рук. А.И. Быков, к.т.н., доц. (НИУ "МЭИ")*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА СНИЖЕНИЯ ШУМА В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ЗА СЧЕТ ПЕРЕХОДА С ДИЗЕЛЬНЫХ И БЕНЗИНОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ГИБРИДНЫЕ**

В настоящее время серьезные проблемы и угрозы для цивилизации связаны с выбросом в атмосферу вредных компонентов при сжигании топлива и постепенным истощением ископаемых видов топлива. Загрязнение воздуха в значительной степени связано с транспортом, особенно автотранспортом. Работа двигателя внутреннего сгорания, работающего на дизеле или бензине, вызывает выброс в атмосферу таких компонентов горения, как двуокись углерода, окись углерода, соединения серы, оксиды азота, углеводороды, соединения свинца, которые способствуют разрушению экосистемы и угрожают здоровью человека на глобальном и локальном уровне. Более того, их выбросы вызывают глобальное потепление климата. Тем не менее, важной проблемой, связанной с использованием автотранспорта, является уровень шума, который также вреден для здоровья человека.

С развитием науки и техники количество электромобилей будет увеличиваться, и они даже заменят машины с ДВС, тем самым уровень шумового воздействия автотранспорта изменится. Снижение шума происходит за счет того, что в электрическом транспорте отсутствует двигатель внутреннего сгорания, который вносит основной вклад в УЗД автомобиля, движущегося на скорости 20–30 км/ч. В тоже время низкий уровень шума затруднит обнаружение пешеходами их приближения и тем самым негативно повлияет на безопасность пешехода. Стоит отметить, что при высоких скоростях уровень шума в меньшей мере зависит от типа двигателя. Таким образом, мероприятия по снижению шума останутся актуальны и будут нуждаться в корректировке с учётом новых особенностей электротранспорта.

### **Литература**

1. **Thomas Bräunl** «Synthetic engine noise generation for improving electric vehicle safety» August 2012 International Journal of Vehicle Safety 6.
2. **Thomas P Hendrickson** «Low noise levels of BEV electric cars — an advantage or disadvantage?» December 2018 AUTOBUSY — Technika Eksploatacja Systemy Transportowe.
3. **Min-Chih Hsieh, Hung-Jen Chen, Ming-Le Tong, Cheng-Wu Yan** «Effect of Environmental Noise, Distance and Warning Sound on Pedestrians' Auditory Detectability of Electric Vehicles» September 2021 International Journal of Environmental Research and Public Health.

*А.А. Лобачев, студ.;*  
*рук. А.В. Мордвинова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ**

Россия, обладая самой большой территорией в сравнении с другими странами, занимает лидирующие позиции по добыче важнейших полезных ископаемых, при этом предприятия по их переработке, как правило, строятся в непосредственной близости к месторождениям. В связи с этим многие объекты нефтегазовой отрасли находятся в труднодоступных районах, климат и местность которых только повышает сложность, как проведения строительных работ, так и обеспечения безопасности производств.

Основным нормативным правовым актом в области пожарной безопасности является ФЗ №123 от 22.07.2008 [1]. Однако метеорологические условия накладывают свои ограничения. Использование систем противопоаварийной и противопожарной защиты в арктических условиях осложнено крайне низкими температурами, что побуждает к созданию специальных систем, работающих в условиях данного климата. Объекты, располагаемые в арктическом регионе, строятся скомпоновано, что ведет к уменьшению противопожарных расстояний и требует наличия компенсирующих мероприятий. При строительстве вынужденно используются свайные фундаменты. Главной причиной такого подхода является вечная мерзлота, которая в условиях вечной зимы может вести себя непредсказуемо, сами здания нагревают грунт, который подтаивает и может в следствии этого смещаться. Свайные фундаменты в меньшей степени более устойчивы, но подвергаются процессу морозного пучения. Также сложности обусловлены уникальностью объектов и отсутствием обширного опыта эксплуатации, который мог бы стать основой для нормативной базы.

Указанные проблемы имеют обширный характер поэтому для снижения опасности как вреда человеческому здоровью, так и материальных потерь необходимо продолжать исследования. Необходимо привести к общему существующую нормативную базу, проводить поиск новых и более совершенных способов обеспечения безопасности, обобщить и углубить имеющийся опыт эксплуатации уникальных объектов для создания руководящих документов, разъясняющих спорные моменты, покрывающих всё ещё открытые вопросы.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

*К.Д. Лещевская, студ.;*  
*рук. А.С. Козодаев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ**

В настоящее время на биологических очистных сооружениях существует проблема нехватки органических соединений в составе очищаемых сточных вод. Биологическая очистка основана на способности микроорганизмов использовать органические загрязнения в качестве источника питания, окисляя их до более простых веществ — воды, метана, сероводорода, углекислого газа. В качестве микроорганизмов используется биоценоз зоогенных бактерий, простейших и многоклеточных организмов, называемый активным илом [1]. Низкое содержание органических включений приводит к замедлению процесса очистки, снижению эффективности денитрификации и дефосфатации, гибели активного ила.

При наличии данной проблемы возможна интенсификация процесса биологической очистки в трех направлениях:

1. Увеличение дозы активного ила в зоне аэрации, что позволяет увеличить площадь контакта биозагрузки с очищаемыми стоками и способствует увеличению окислительной мощности. Однако, при данном способе микроорганизмы получают еще меньше питания, что в свою очередь приводит к увеличению выноса активного ила. Поэтому, необходимо постоянное внесение ила, а также оптимизация процесса илоразделения высококонцентрированных смесей после аэротенков.
2. Создание оптимальной гидродинамической структуры потока в аэротенке. Это способствует улучшению условий окисления загрязнений в составе очищаемых сточных вод.
3. Повышение активности микроорганизмов применением различных биологически активных веществ с целью стимуляции процессов биоразложения загрязнений, в том числе применение органических подкормок. Данный способ позволяет значительно интенсифицировать процесс биологической очистки, но при этом резко увеличивается и себестоимость очистки.

Одним из новых способов решения обозначенной проблемы может быть концентрирование сточных вод, в том числе и с применением мембранных технологий. Результаты предварительных экспериментальных исследований показывают, что применение такого подхода позволяет повысить содержание органики в стоках, не увеличивая при этом концентрацию токсичных веществ.

### **Литература**

1. **Колесников В.П.** Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях, 2005 г. — 212 с.



*Б.Э. Баширов, студ.; рук. Н.Б.Рубцова, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Современная проблема обеспечения электромагнитной безопасности работающих и населения требует совершенствования гигиенического нормирования, методов контроля, принципов и средств защиты человека от электромагнитных полей различных частотных диапазонов. Электромагнитная безопасность (ЭМБ) электросетевых объектов обеспечивается за счет снижения рисков неблагоприятного влияния на человека и окружающую среду генерируемых этими объектами электрических и магнитных полей (ЭП и МП), в основном, промышленной частоты (ПЧ — 50/60 Гц).

Наибольший интерес представляют воздушные и кабельные линии электропередачи. Основные принципы ЭМБ — защиты человека от неблагоприятного влияния ЭП и МП ПЧ включают в себя: защиту временем, защиту расстоянием и защиту путем применения средств защиты. Защита временем реализуется путем гигиенических нормативов ЭП и МП ПЧ, которые как для условий производственных воздействий, так и частично для населения зависят от продолжительности воздействия. Защита расстоянием реализована созданием для воздушных линий электропередачи (ВЛ) санитарно-защитных зон (СЗЗ) — санитарных разрывов, на границах которых уровни ЭП не должны превышать нормативных значений, установленных для селитебных территорий. Обеспечение ЭМБ путем применения средств защиты осуществляется практически только на рабочих местах персонала электросетевых объектов.

Перевод ВЛ напряжением 110–500 кВ в кабельные, что сейчас широко практикуется в крупных городах РФ, может приводить не только к положительным изменениям в электромагнитной обстановке в зоне их размещения за счет отсутствия влияния ЭП ПЧ и максимального сокращения СЗЗ, но и служить фактором риска неблагоприятного влияния на население магнитной составляющей, которая еще в 2002 г. Международным агентством по исследованию рака была отнесена к категории «2b» — «условных=возможных канцерогенов» по лейкозам для детей [1].

### **Литература**

1. IARC Monograph Volume 80 Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, 2002. 429 p.

М.А. Забелин, асп.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПРИЧИН АВАРИЙНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

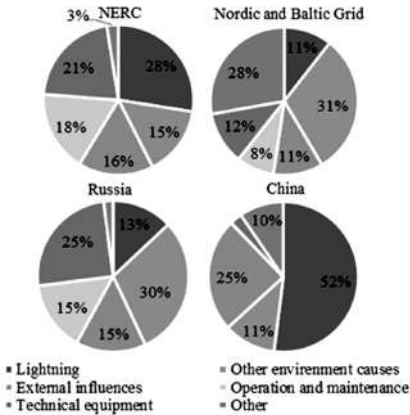


Рис. 1. Структура причин аварийности в энергосистемах США, стран ЕС, России и Китая.

Анализ аварийности объектов энергетики в России и за рубежом демонстрирует, что на надежность элементов электроэнергетических систем влияют не только конструктивные, эксплуатационные причины, но и факторы воздействия погодных и климатических явлений [1].

По данным ПАО «Россети», одной из ключевых причин аварий в электроэнергетике, для которой в настоящее время фиксируется до половины технологических сбоев происходят в результате воздействия климатических факторов, среди которых ведущую роль играет воздействие ветра.

На рисунке 1 приведена круговая диаграмма распределения долей технологических нарушений, которая показывает, что из-за воздействия климатических факторов в энергосистеме США произошло 43% отключений, северных стран ЕС и Прибалтики — 42%, России — 43%, Китая — 63%. Наиболее восприимчивым объектом электросетевого комплекса, по данным АО «СО ЕЭС», к проявлению нагрузок климатического характера относятся линии электропередачи (ЛЭП), а именно (в порядке убывания доли): провода и кабели — 38%, изоляторы — 23%, опоры — 9% и арматура — 3%. Негативное проявление в виде технологических нарушений на данных объектах, безусловно, связано с высокой пространственной рассредоточенностью ЛЭП.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-79-00042.

### Литература

1. IPCC, 2021: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

*Е.О. Гунбина, студ;  
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКИ ВЕРИФИКАЦИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ АУДИТОРСКИМИ И КОНСАЛТИНГОВЫМИ КОМПАНИЯМИ**

Российская экономика остро нуждается в перспективных проектах с низкоуглеродными технологиями для перехода на инновационный путь развития. В настоящее время в России формируется система углеродного регулирования, гармонизированная с международными нормами и правилами. На основании [1, 2] были утверждены правила, по которым происходит верификация результатов реализации климатических проектов. При их соблюдении ожидается выпуск в обращение углеродных единиц, полученных в результате реализации проектов.

В настоящее время Росаккредитацией аккредитовано уже 10 органов в областях аудита и консалтинга по верификации парниковых газов, задача которых осуществлять проверки и подтверждать сведения о снижении или же ликвидации выбросов парниковых газов и наоборот об увеличении поглощения парниковых газов в процессе реализации климатического проекта. В результате проверок определяется инвестиционная привлекательность компаний и, в планах, затраты при углеродном налогообложении.

Проведенный в работе обзорный анализ нормативных документов позволил сформировать следующий перечень методик верификации выбросов парниковых газов: Методики количественного определения объема выбросов и объема поглощения парниковых газов (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371), Методические указания по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов (Приказ Минприроды России от 29.06.2017 № 330), Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации (Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 г. № 15-р).

Исследование выполнено в рамках стратегического проекта ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Климатическая трансформация энергетической отрасли при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

### **Литература**

1. **Федеральный закон** от 2.07.2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».
2. **Постановление Правительства** Российской Федерации от 24.03.2022 г. № 455 «Об утверждении Правил верификации результатов реализации климатических проектов».

*Ю.А. Фионин, студ.; рук. П.В. Голов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГРАММЫ ЗАМЕНЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ**

В современных условиях рынка электроэнергии и мощности, рыночных принципах функционирования энергетических компаний с учетом подхода менеджмента компаний к парку оборудования как к бизнес-активам, одной из важных проблем является необходимость замены оборудования. Определение приоритетности замены и включение трансформаторов в краткосрочные (3–5 лет) и долгосрочные (5–10 лет) программы замены оборудования зависит от многих факторов помимо критериев «техническое состояние» и «достижение предельной наработки по сроку службы» (в том числе и по ГОСТ, по которому был выпущен трансформатор).

В рамках исследования проведен анализ принципов формирования программ замены силовых трансформаторов (высшим напряжением 110–500 кВ) электросетевых и генерирующих компаний, а также критериев для включения оборудования в программы замены трансформаторов, подходов к определению приоритетности замены оборудования. Предложены оптимизационные решения для исследованных критериев.

Предложенные оптимизационные решения по критериям ранжирования трансформаторов по приоритетности замены учитывают многие факторы, включая техническое состояние, наличие систем диагностики на конкретном трансформаторе, последствия от нарушения транзита (выдачи) мощности по конкретному трансформатору, сроки замены, наличие резервных трансформаторов аналогичного класса, прочие факторы.

Показано, что предложенные решения соответствуют риск-ориентированному управлению активами энергетических компаний и могут быть использованы в рамках системы управления производственными рисками энергетической компании.

### **Литература**

1. Хренников А.Ю., Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Александров Н.М. Силовые трансформаторы в электрических сетях: испытания, диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг. Части 3, 4 // Библиотечка электротехника. — 2022. — № 4–5. — С. 1–166.
2. Вернер Флейшман, Одриус Илгвициус, Торстен Крюгер (Машинфабрик Рейнхаузен ГмбХ). Прогнозирование срока службы трансформаторов и управление активами. // Энергоэксперт. — 2020. — №3 (75). — С. 56–62.

*Н.В. Васильева, асп.;*  
*рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Задачи, связанные с изучением и оптимизацией профессиональной деятельности субъекта труда, ключевые в вопросах психологии безопасности и надежности эргатических систем энергетической отрасли [1].

Основные принципы и методы эргономической оценки рабочих мест содержатся в методических рекомендациях [2], которые были приняты в 1986 г. С учетом изменения законодательства Российской Федерации целесообразно проводить оценку эргономических характеристик при проведении СОУТ [3]. Приведенный в методике перечень параметров включает физиологические и психофизиологические показатели, которые схожи с оцениваемыми показателями при проведении СОУТ, что позволит установить четкие критерии в эргономической оценке. Фрагмент анализа представлен в таблице 1.

**Таблица 1.** Сравнительный анализ параметров трудовой деятельности

№	Перечень оцениваемых параметров	
	МР 3212-85	СОУТ
1	Масса перемещаемого груза, кг	Физическая динамическая нагрузка — единицы внешней механической работы за рабочий день (смену), кг м
2	Двигательная активность (переходы за смену) км (число шагов)	Перемещения работника в пространстве, обусловленные технологическим процессом, в течение рабочей смены, км

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых в рамках научного проекта № МК-1816.2022.4 «Создание интерактивного прототипа экосистемы well-being на энергетических предприятиях».

### **Литература**

1. **Носкова О.Г.** Психолого-эргономическое обеспечение практики охраны труда в России // Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2018) с. 636–643.
2. **МР 3212-85** Основные принципы и методы эргономической оценки рабочих мест для выполнения работ сидя и стоя. / Минздрав СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. — М., 1986 год.
3. **Приказ** Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. №33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда».

*Н.Н. Ионов, студ.; рук. П.В. Голов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РЕОМЕНДАЦИЙ ПО ДИАГНОСТИКЕ АВАРИЙНОСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ**

Разработанные 30–40 лет назад подходы к определению периодичности ремонтов турбогенераторов, объемам ремонтов с выводом и разборкой роторов, контролем состояния обмотки возбуждения, бандажных колец не учитывали возможность проведения достаточно точной диагностики, доступной энергетическим компаниям в настоящее время.

Рынок диагностических услуг в последние 5–10 лет активно развивается, создаются различные системы контроля и диагностики, специальные роботы и устройства для контроля состояния обмотки статоров и роторов турбогенераторов через зазор без вывода ротора. Использование систем диагностики позволяет получать большой объем информации по текущему состоянию турбогенератора, определять дефекты на начальной стадии их возникновения, а также принимать решения по уменьшению времени ремонта оборудования за счет оптимизации ремонтных воздействий.

В рамках исследования проводится анализ имеющихся на данный момент в эксплуатации систем мониторинга диагностики турбогенераторного оборудования электрических станций. Проводится сопоставление подходов к управлению парком турбогенераторов на основании применения различных систем диагностики и мониторинга. Разработке этих предложений и посвящена данная работа. Она затрагивает не только методы диагностики неразрушающего контроля, но и корректировку действующей отраслевой нормативной базы в части периодичности и объемов ремонтов турбогенераторов. Это перспектива диагностирования работающего оборудования без остановки, а также выполнения ремонта турбогенераторов ТЭЦ и ГРЭС без выемки ротора и снятия бандажных колец, что позволит сократить время ремонта и упущенную прибыль генерирующих компаний.

### **Литература**

1. **К. Алассан** Оценка состояния синхронных машин без вывода из работы Молодой ученый. — 2018. — № 46 (232). — С. 33–44.
2. **Ю.В. Шаров, Г.Ф. Бинько, В.В. Беляков, Ю.Д. Виноцкий, О.С. Голоднова, Т.В. Купчиков, М.В. Федотов, А.А. Астанин, В.М. Тарасов, Р.Г. Миляев, Д.Е. Пичугин, П.В. Шумов.** Цифровизация контроля текущего состояния и предиктивной диагностики турбогенераторов на электростанциях. Энергия единой сети № (49) декабрь 2019 — январь 2020.
3. **А.Н. Назарычев, Д. С. Крупнев.** Надёжность и оценка технического состояния оборудование систем электроснабжения. РАН, Сибирское отделение Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. — Новосибирск: Наука, 2020.

*А.И. Мамелин, А.А. Нигаманов, студенты;  
рук. П.В. Голов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РИСКОМ АВАРИЙ НА ОБОРУДОВАНИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И КОТЕЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫБРАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАМКАХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ**

В крупных генерирующих компаниях, имеющих в своем составе ТЭЦ и котельные, реализуются системы управления рисками и внутреннего контроля для обеспечения управления активами и бизнес-процессами компаний. Система управления рисками крупной производственной компании, к каким относятся генерирующие компании, связана с управлением как производственными, так и непроизводственными рисками. В рамках управления производственными рисками обычно выделяют риск аварий на оборудовании, риск нарушения обеспечения генерирующих объектов топливом, запасными частями для ремонтов, риск повреждения оборудования с пожаром и возгоранием, взрывом и т.д. В рамках иерархии производственных рисков выделяют риски, связанные с нарушением теплоснабжения.

Как правило, риск нарушения теплоснабжения потребителей, или риск обеспечения требуемых показателей и параметров режима теплосети, источником для которой является генерирующий объект, определяется в основном по составу схемы выдачи тепловой мощности ТЭЦ или котельной и трубопроводов теплосети, входящих в границы объекта генерации. При оценке рисков нарушения теплоснабжения потребителей и обеспечения требуемых параметров режима теплосети зачастую недостаточное внимание уделяется системам электротехнического оборудования, напрямую не участвующих в обеспечении теплоснабжения, но повреждение или некорректная работа данных систем могут оказать существенное влияние на надежность теплоснабжения. Идентификации данных систем и единиц электротехнического оборудования, влияющих на надежность теплоснабжения, и посвящена данная работа. Выделяются электродвигатели, системы управления и контроля, а также общестанционные системы электротехнического оборудования, включая системы собственных нужд и схему выдачи электрической мощности, оценивается влияние на обеспечение надежности теплоснабжения.

### **Литература**

1. **Камчатова Ю.Е.** Управление рисками генерирующих энергокомпаний // Вестник университета. 2018. № 2. С. 50–56.

**Направление VI**

**ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Economics and management**

---

**Руководитель направления:**

Заведующий кафедрой менеджмента

в энергетике и промышленности

НИУ «МЭИ», к.э.н., доцент

Кетоева Наталья Леонидовна



**Секция 29**  
**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ**  
**General issues of the economy**

---

*Председатель секции: д.э.н., доцент Лисин Евгений Михайлович*

*Секретарь секции: Коновалова Оксана Геннадьевна*

*М.Е. Николаев, студ.;  
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ**

В настоящее время динамика фондовых достаточно противоречива. Рынки «лихорадит»: разрушаются устоявшиеся модели взаимодействия, устанавливаются новые. Проблемы логистического характера, высокие цены на энергоресурсы, рост инфляции и процентных ставок оказывают влияние на инвесторов, осуществляющих финансовые инвестиции. Так, на всех мировых фондовых рынках сложился «медвежий» тренд, который требует изменения подхода к инвестированию как со стороны индивидуальных инвесторов и фондов, так и со стороны компаний-участников рынка. «Медвежий» рынок характеризуется падением цен на активы более чем на 20%. Являющийся эталонным, индекс S&P 500 продемонстрировал снижение с исторического максимума в 4818,62 пунктов более чем на 25,8%. Индекс МосБиржи, в свою очередь, потерял в цене более 46,5% с пиковых значений [1].

На фондовой рынок России, кроме вышеупомянутых факторов, сильное влияние оказывает санкционное давление, так экспортная часть бизнесов находится под угрозой. Из-за небольшой ликвидности, институциональным инвесторам стало чрезвычайно сложно «заходить» в рынок, так как покупка большого количества ценных бумаг в короткие сроки приводит к значительному изменению цены — происходит «проскальзывание», в результате инвесторы теряют денежные средства.

Так, исходя из отчета Банка России за 2 квартал 2022 года, на фоне отсутствия нерезидентов средний размер сделок снизился вдвое при сохранении числа активных инвесторов на уровне прошлого года [2]. В качестве одного из решений по борьбе с кризисом ликвидности глава наблюдательного совета Московской биржи Сергей Швецов в рамках Уральской конференции НАУФОР высказал идею о необходимости пересмотра ограничений на инвестиции госслужащим [3].

Как известно, рост ВВП во многом зависит от положительной динамики наиболее крупных ликвидных компаний, торгующихся на фондовом рынке. Следовательно, проблемы финансовых рынков чрезвычайно актуальны и требуют формирования новых моделей функционирования.

### **Литература**

1. Мировые индексы // Investing.com. URL: <https://ru.investing.com/markets/>
2. Обзор ключевых показателей профессиональных участников рынка ценных бумаг // Банк России. URL: <http://www.cbr.ru>
3. Глава набсовета Мосбиржи предложил разрешить чиновникам инвестировать // РБК Инвестиции. URL: <https://quote.rbc.ru>

*А.А. Будян, студ.; рук. И.Е. Ларина, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **УЧЕТ И НЕОБХОДИМОСТЬ СОЗДАНИЯ РЕЗЕРВОВ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ**

Все современные предприятия ведут деятельность в условиях неопределенности. Рыночная экономика, как показывает практика, носит порой стихийный характер. Данные условия сопряжены с различного рода рисками, которые могут привести к большим финансовым потерям. Одним из актуальных способов защиты и минимизации рисков является создание резервов на предприятии.

Оформление резервов в бухгалтерском учете производится по специальным алгоритмам с учетом установленных законодательством подходов. Резервы в бухучете можно разделить на 3 группы:

- уточняющие — предназначены для корректировки балансовой стоимости некоторых активов (резервы под обесценение МПЗ и (или) финансовых вложений, резерв по сомнительным долгам);
- условные — резервы, связанные с появлением у фирмы условных фактов хозяйственной деятельности (обусловленные наступлением в будущем высоковероятных событий: заведомо проигрышного судебного разбирательства; реструктуризации фирмы и др.);
- целевые — резервы предстоящих расходов на конкретные цели (на гарантийный ремонт, предстоящую оплату отпусков и др.) [1].

В бухгалтерском учете резервы формируются с целью достоверной оценки активов и необходимости представления пользователям реальных отчетных данных об обязательствах фирмы. Необходимо создать такие резервы на предприятии, которые позволят избежать в будущем финансовые потери. При создании новых резервов необходимо разработать новую методику их учета, оценку и инвентаризации.

Таким образом, можно создать такие резервы, как: резерв невостребованной кредиторской задолженности, резерв на ремонт ОС, резерв на колебание курса ценных бумаг, резерв на «блокирование» имущества. [2]

Тем самым это должно положительно сказаться на работе предприятия, минимизировать риски и обеспечить экономическую безопасность.

### **Литература**

1. **Гартвич А.В.** Бухгалтерский учет с нуля: Самоучитель. — СПб.: Питер, 2013. — 400 с.
2. **Миронова Ольга Алексеевна,** Избранные статьи по экономике: к юбилею ученого, Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020.

*А.А. Бабаян, студ.; рук. И.Е. Ларина, к.э.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **СУЩНОСТЬ СОЦИАЛЬНОЙ ОТЧЕТНОСТИ И СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

В настоящее время в мировой экономике можно наблюдать тренд, когда параллельно с национальными программами развития общества крупные компании реализуют собственные корпоративные планы устойчивого социального развития. Достижение на практике социально ответственного поведения напрямую свидетельствует об устойчивом развитии компании, поэтому ведение социальной отчетности является обязательным условием ее стратегического развития.

На современном этапе принято множество международных законов и подзаконных актов, регулирующих отношения в области социальной ответственности. Одним из главных нормативов в данной сфере, является стандарт ISO 26000. В России же на сегодняшний день система подготовки социальной отчетности недостаточно развита, ее главные направления — развитие региона, благотворительность и работа с персоналом. Главным препятствием в развитии данного направления отчетности является ее необязательность (в отличие от зарубежных стран) и отсутствие законодательной основы для ее регулирования. Также существенным препятствием для ее развития является отсутствие стимулирования социально-ответственного инвестирования [1].

Современная бухгалтерская отчетность не имеет возможности в полной мере предоставить информацию, которая необходима для всесторонней оценки работы предприятия, так как в ней отсутствуют необходимые показатели, характеризующие социальную деятельность компании. В свою очередь, правильно составленная социальная отчетность позволяет компании обеспечить повышение ее имиджа и деловой репутации, повысить прозрачность для общества, уровень доверия в отношениях с партнерами и инвестиционную привлекательность для инвесторов [2].

Именно поэтому сегодня на основе изучения опыта составления и представления социальной отчетности крупных отечественных и зарубежных компаний, необходимо разрабатывать новые методические положения по ее структуре и инструментарию для более эффективного ее использования в стратегическом развитии компании.

### **Литература**

1. **Андрющенко Е.Ю.** Сущность социальной отчетности и особенности ее составления российскими организациями // Скиф. 2020. № 7(47).
2. **Мурад Э.Э.** Отчетность об устойчивом развитии. актуальность, стандарты и применение на практике // Скиф. 2020. № 6 (46).

*О.С. Савенкова, студ;  
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **ВЛИЯНИЕ ВАРИАНТОВ УЧЕТА ФИНАНСОВОГО РЕЗУЛЬТАТА НА РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ**

Как известно цель деятельности любой коммерческой организации — это извлечение прибыли. В связи с чем, особую актуальность приобретают вопросы выбора правильной методики учета финансовых результатов, чтобы избежать неоправданных затрат и сформировать максимально выгодные элементы учетной политики [1].

Финансовый результат — это показатель деятельности предприятия, характеризующий уровень его успеха или неуспеха. В рамках проведенного исследования установлено, что с точки зрения НУ 25 главой НК РФ финансовый результат является базой налогообложения для осуществления платежей [2]. При этом формирование финансового результата в налоговом учете может отличаться от его величины, указанной в бухгалтерском учете.

Таким образом, различие вариантов учета в системе бухгалтерского и налогового учета предприятия оказывает значительное влияние на конечный финансовый результат. К тому же, с целью повышения прибыли целесообразно проводит выборку методов наиболее оптимальных для компании, которые будут способствовать повышению нераспределённой прибыли путем экономии на налогообложении.

**Таблица 1.** Формирование выручки в бухгалтерском и налоговом учете

Вид доходов	Учет доходов	
	Бухгалтерский учет	Налоговый учет
Деньги, полученные (причитающиеся к получению) от покупателя товаров (работ, услуг) за минусом НДС	Включают в состав выручки от реализации	Включают в состав доходов от реализации
Курсовые разницы, возникающие если выручка получена в иностранной валюте	Включают в состав прочих доходов или расходов	Включают в состав внереализационных доходов или расходов
Получены за отсрочку оплаты товаров, работ, услуг	Увеличивает выручку от реализации	Включают в состав внереализационных доходов

### **Литература**

1. **Милорадова, В.С.** Вариативность оценки финансовых результатов деятельности организации / В. С. Милорадова. — Молодой ученый. — 2020. — № 44 (334). — С. 103–106. — URL: <https://moluch.ru>
2. <https://base.garant.ru> — информационно-правовой интернет-портал.

*Ю.С. Морозова, студ;  
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА ФИНАНСОВЫХ ВЛОЖЕНИЙ КОМПАНИИ**

В современном мире сложных экономических процессов и взаимоотношений между гражданами, предприятиями, финансовыми институтами и государством острой проблемой является эффективное вложение капитала с целью его приращения. В экономике рыночного типа финансовые вложения компании играют весьма значимую роль, поскольку позволяют мобилизовать свободные денежные средства [1].

На сегодняшний день в России одним из основных нормативных документов, регламентирующих порядок ведения бухгалтерского учета финансовых вложений, является ПБУ 19/02 [2]. В рамках проведенного анализа установлено, что финансовые вложения, должны отражаться в бухгалтерской отчетности наконец отчетного года по текущей рыночной стоимости путем корректировки их оценки на предыдущую отчетную дату. При этом разницу между оценкой финансовых вложений по текущей рыночной стоимости на отчетную дату и предыдущей оценкой финансовых вложений необходимо относить на финансовый результат компании в составе прочих доходов или расходов. На наш взгляд, это неправильно.

Учитывая, какими были последние два года для бизнеса во всем мире и особенно текущий 2022 год для российских компаний является весьма турбулентным. В связи с чем можем заключить, что текущая рыночная стоимость финансовых вложений, по которым ее регулярно определяют, может кардинально измениться в течении года. И если компания не делает в течение года таких корректировок, то ее промежуточная бухгалтерская отчетность содержит не реальную информацию, а примерную, что сразу же отразится на результатах анализа финансового состояния компании.

Поэтому, чтобы избежать проявление такого рода негативных последствий, предлагается текущую рыночную стоимость финансовых вложений отражать в бухгалтерской отчетности не только в годовой, но и ежеквартальной. На наш взгляд, это сразу же повысит роль бухгалтерского учета в информационном обеспечении современного бизнеса на таком важном участке, как финансовые вложения.

### **Литература**

1. **Керимов В.Э.** Бухгалтерский учет: учебник, 8-е изд. — Москва: Дашков и К°, 2019. — 583 с.
2. <https://base.garant.ru> — информационно-правовой интернет-портал.

*Н.Ю. Ермошина, студ.;  
рук. Л.В. Бухарева, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ УЧЕТ КАК ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК ПРОИЗВОДСТВА**

Учет затрат является одним из самых важных инструментов качественного управления предприятием. Каждое предприятие или его производственное звено должны знать, во что обходится создание услуг, насколько эффективны принимаемые решения, и как они влияют на финансовые результаты. В связи с этим, в современных условиях особое внимание уделяется созданию и развитию отлаженной системы учета, повышению контроля над издержками производства и калькулированию себестоимости продукции и услуг [1].

На основе проведенного исследования можно констатировать, что специфика учета себестоимости услуг состоит в том, что любой финансовый контроль, который осуществляется налоговыми органами или аудиторами, сосредоточен на правомерности включения затрат в себестоимость по всей организации в целом. В себестоимость включаются: страховые взносы, транспортный налог, земельный налог, налог на имущество, водный налог и другие [2]. А потому учет затрат сегодня ориентирован в большей степени на налоговый учет. Практика же показывает, что на любом предприятии возникает необходимость наладить четкую систему управленческого учета, особенно такой его важной составляющей как производственный учет.

Производственный учет — это система сбора, регистрации, обобщения и анализа информации о затратах предприятия и их влиянии на формирование себестоимости продукции (работ, услуг) [3]. По сути, он представляет собой базу данных для целей управленческого учета. Кроме того, производственный учет как составная часть управленческого учета позволит получить разнообразную по направлениям, видам, структуре и объему аналитическую информацию о производственных затратах.

Таким образом, производственный учет позволит получить информацию о затратах на производство и достоверно сформировать себестоимость продукции (работ, услуг). А расширенная «затратная» аналитика осуществить контроль на всех уровнях управления и принять обоснованные управленческие решения.

### **Литература**

1. **Лукаш, Ю.А.** Расходы коммерческой организации: формирование, анализ учёта, управление, оптимизация: учебное пособие / Ю.А. Лукаш. — Москва: Флинта, 2022. — 495с.
2. **Главная книга** — готовые решения для бухгалтера. Какие налоги входят в себестоимость продукции (glavkniga.ru)
3. **Налог-налог.ru** — <https://nalog-nalog.ru>

*М.А. Гришно, студ;  
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., профессор (НИУ МЭИ)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА НА ФОНЕ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ**

Санкционные ограничения внесли значительные изменения в работу многих секторов экономики, в том числе и в области инвестиционной деятельности. В связи с санкциями спрос бизнеса на финансовые инвестиции существенно снизился, а оценка их эффективности требовала более скрупулезного подхода, что и подтверждает актуальность данной темы.

Оценить эффективность финансовых инвестиций можно с помощью следующих методов: методы чистой современной стоимости и внутренней доходности, метод чистой будущей стоимости, а также традиционные методы индекса доходности и срока окупаемости. Так, чистая современная и будущая стоимость всегда имеют значения одного знака и одновременно, принимают нулевые значения. Поэтому эти показатели дают одинаковую качественную оценку экономической эффективности финансовых инвестиций [1].

За последнее время в отношении России были введены множество экономических ограничений, затрагивающих финансовый рынок России. Направлениями этих санкций являются: кредитные организации, санкции против российского госдолга и облигаций; ограничения поставки валюты в Россию; ограничения в отношении платежных систем; ограничения в отношении ЦБ РФ.

Все эти ограничения оказали влияние на экономические показатели финансового рынка. Многие ключевые брокеры попали в SDN-лист, что привело к блокировке долларовых активов, и сказалось на котировках ценных бумаг. Например, акции ПАО ВТБ с января 2022 года «просели» на 61,5%, в то время, как московская фондовая биржа в индексе упала на 28,3%. Также многие компании отменили выплаты дивидендов, что снизило спрос на их акции на рынке [2].

Таким образом, санкционный эффект оказал серьезное влияние на рынок, появились новые условия, для приспособления к которым нужны новые модели и показатели эффективности финансовых инвестиций.

### **Литература**

1. **Л.И. Сабитова.** Оценка эффективности финансовых вложений // Вестник казанского федерального университета. — 2020.
2. **Э.А. Айдиев.** Санкции и их влияние на экономику России // Экономика и предпринимательство. 2022. № 3(140).



*А.С. Денисова, студ;  
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

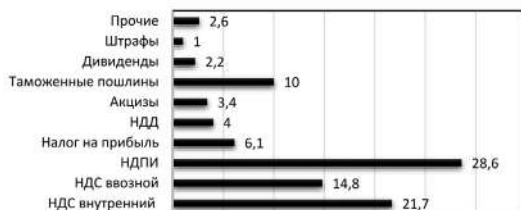
## ОЦЕНКА ФИСКАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА НДС

Важное место в налоговой системе большинства стран мира и современной России, занимает налог на добавленную стоимость (НДС), преимуществом которого является значительный фискальный потенциал. Как известно, фискальная политика государства реализуется через контрольную функцию налогов, важной задачей которой является совершенствование системы налогового администрирования НДС, что и обуславливает актуальность темы данного исследования.

Наибольший научно-практический интерес в этом контексте связан с изменениями собираемости платежей по НДС в России в ближайшие годы. При этом, на наш взгляд, необходимо учитывать не только изолированное влияние уровня налоговой ставки на собираемость НДС, но также влияние теневой экономики. Как показал анализ, НДС в структуре доходов федерального бюджета находится на втором месте (рис. 1) [1].

Таким образом, цель администрирования НДС заключается не в исключительно директивном подходе, а в помощи налогоплательщикам в правильном исчислении и уплате НДС, содействие законному возврату НДС, а также содействие оптимизации налогообложения НДС.

На наш взгляд, в качестве перспективных мер предотвращения уклонения от уплаты НДС в рамках цифровизации экономики — это обеспечение бесперебойной работы онлайнкасс и автоматизация оценки правомерности налоговых вычетов.



**Рис. 1.** Структура доходов федерального бюджета за 2021 год, %

### Литература

1. <https://minfin.gov.ru> — Официальный сайт Министерства финансов РФ.

*А.С. Радаева, студ;  
рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ**

Мировая практика показывает, что инновации занимают ведущее место в экономике развитых стран. Несмотря на имеющиеся ресурсы, наша страна не занимает лидирующих позиций по уровню инноваций, что и обуславливает необходимость изучения данной проблематики.

Экономика России, несмотря на новую модель экономического развития, сохраняет низкий уровень инновационной активности по сравнению с другими странами. Это связано с незаинтересованностью ученых в создании научных инноваций, с недостаточным финансированием технологических проектов, с прогрессивным ростом социальных сетей, где быстрыми и легкими способами достигается финансовая независимость [1]. Как показал анализ в глобальном инновационном индексе Россия занимает лишь 45 место из 132 (табл. 1).

На наш взгляд, одной из причин негативных тенденций в данной сфере является ситуация на Украине, вследствие чего в отношении РФ были применены санкции. Кроме того, факторами, снижающие инновационное развитие экономики РФ являются: низкое финансирование инновационных разработок, потеря высококвалифицированных кадров, а также отсутствие инновационных систем для обучения специалистов в данной сфере.

Таким образом, инновационное будущее экономики страны зависит и от обеспечения условий институционального и инфраструктурного характера; внедрения «сквозных» технологий и т.д. РФ имеет достаточный потенциал для реализации всех инновационных программ.

Современное производство, его технологические и экономические аспекты требуют постоянной модернизации и совершенствования — внедрения инновационных технологий.

**Таблица 1.** Динамика позиций в ГИИ

	2017	2018	2019	2020	2021
Глобальный инвестиционный индекс	45	46	46	47	45
Ресурсы	43	43	41	42	43
Результаты инноваций	51	56	59	58	52

### **Литература**

1. **Кравец А.В.** Инновационная экономика России: проблемы и перспективы экономического роста // Креативная экономика. 2016. Т. 10. № 1. С. 21–34.
2. <https://issek.hse.ru> — Институт статистических исследований и экономики знаний ВШЭ.

*Д.Е. Королев, студ.;*  
*рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМУЩЕСТВЕННОГО НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ В РФ**

Налог на имущество организаций занимает одно из центральных мест в налоговой системе РФ и вызывает определенный интерес в свете возможных изменений порядка расчета и уплаты данного налога на основе зарубежного опыта, а также изменений, ожидаемых в области замены налога на имущество юридических и физических лиц. Кроме того, налог на имущество организаций является основным налогом субъектов РФ, что требует особого подхода при его изучении.

Итак, в процессе анализа нами установлено, что при определении налоговой ставки для имущественного налога законодательные органы субъектов РФ вправе определять самостоятельно, но в пределах, установленных главой 30 НК РФ [1]. Объектом налогообложения является движимое и недвижимое имущество, учитываемое на балансе в качестве объектов основных средств по правилам бухгалтерского учета. Особенность имущественных налогов состоит в том, что их объектом является имущество само по себе, а не как источник дохода. Несомненно, определенную сложность вызывает практическое применение порядка и правил налогообложения, осуществляющими деятельность на территориях различных субъектов РФ.

На основе проведенного исследования, можно сделать вывод, что современный механизм исчисления и взимания имущественного налога организации служит налоговым целям, но при этом имеет ряд недостатков:

1. Отсутствие временного ограничения при принятии (списании) основных средств.
2. Непредставление документов организацией при проверке инспекцией.  
Предложения по устранению выявленных недостатков:
  1. Введение налога на недвижимость с четко установленными элементами налогообложения.
  2. Ужесточение законодательства за необеспечение организацией сохранности документа.

Таким образом, необходимо внедрить клиентоориентированный механизм взаимодействия налоговых органов с налогоплательщиками и выявить недоимки с минимальными административными издержками.

### **Литература**

1. <https://www.nalog.gov.ru> — официальный сайт Федеральной налоговой службы России.

*Н.М. Ларионов, студ.;*  
*рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАЛОГОВЫХ ЛЬГОТ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ОСОБЫМ ЭКОНОМИЧЕСКИМ СТАТУСОМ**

В условиях глобализации мирового хозяйства, для большинства стран мира первостепенной задачей становятся интеграционные процессы в мировое экономическое пространство. Эффективным инструментом в может стать экономическое зонирование, т.е. создание территорий с особым экономическим статусом. В таких условиях резидентам предоставляются льготы различной направленности: в частности, налогового, административного и торгового характера. В этой связи становится особенно актуальной проблема оценки эффективности территорий с особым экономическим статусом.

Система фискальных льгот и преференций является одним из основных факторов стимулирования развития территорий с особым экономическим статусом в России. Эффективное использование налоговых преференций на данных территориях должны оцениваться с учетом связанных расходов и достижения поставленных перед конкретными проектами целей [1].

На наш взгляд, особое внимание в данном вопросе следует уделить взаимосвязи налоговой нагрузки и объема прямых иностранных инвестиций. Уровень налогообложения оказывает прямое влияние на объем инвестиций в особых экономических зонах развитых стран. Из этого следует, что эффективность налоговых стимулов непосредственно связана с инвестиционным климатом в стране, в том числе с экономическими и политическими проблемами.

На основе проведенного исследования, можно сделать вывод, что успешность функционирования отдельных СЭЗ неразрывно связана с инвестиционной политикой государства. В связи с этим, СВЗ используют привилегированное положение объединенных между собой стран ещё более эффективно, так как это понижает степень издержек при транзакции, понижает стоимость на конечную продукцию и т.п.

Таким образом, для усовершенствования системы налогообложения СЭЗ необходимо ввести метод оценки эффективного применения налоговых льгот. Метод оценки эффективности должен позволить предоставление резидентам ОЭЗ прав на налоговые льготы, но только с учетом показателей социальной и бюджетной эффективности в сегменте типов деятельности на территории особой экономической зоны.

### **Литература**

1. <https://www.economy.gov.ru> — Министерство экономического развития РФ.

*И.В. Городецкий, студ.;*  
*рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНТИИНФЛЯЦИОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИКЕ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ**

На сегодняшний день инфляция является одной из самых опасных и глобальных проблем экономик всего мира, социально-экономические последствия которой могут быть катастрофическими для любого государства. В годовом выражении инфляция в России на сентябрь 2022 года составила 13,68% при цели по инфляции в 4% [1]. Инфляция является одной из важнейших экономических проблем в экономике современной России, и в сложившейся неустойчивой политической и экономической ситуации, одна из основных задач состоит в том, чтобы обеспечить стабильное экономическое развитие с помощью антиинфляционной политики [2].

В целях предотвращения негативных последствий инфляции государство проводит комплекс мер, именуемый антиинфляционной политикой. Антиинфляционная политика — это политика, проводимая государством и нацеленная на стабилизацию общего уровня цен, а также снижение инфляционной остроты. Существуют монетарные и немонетарные инструменты антиинфляционной политики. К монетарным инструментам относятся: регулирование ключевой ставки, операции на открытом рынке, изменение нормы обязательных резервов. К немонетарным инструментам антиинфляционной политики относятся: антимонопольная политика, сокращение государственных расходов, ограничение роста заработных плат, фискальная политика [3].

Регулирование ключевой ставки является одним из основных инструментов антиинфляционной политики РФ. На данный момент ставка находится на уровне 7,5% [1]. Повышение или понижение ключевой ставки зависит от поставленных задач — снижение уровня инфляции для поддержания ценовой стабильности или наоборот, увеличение денежной массы с целью поддержать экономический рост [4].

### **Литература**

1. **Ключевая ставка Банка России** и инфляция // Банк России URL: [https://cbr.ru/hd\\_base/inf/](https://cbr.ru/hd_base/inf/)
2. **Воронин Б.А., Чупина И.П., Воронина Я.В. СУЩНОСТЬ АНТИИНФЛЯЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ** // АОН. 2020. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-antiinflyatsionnoy-politiki-rossii>
3. **Антиинфляционная политика** в современной России // ИДА ТЕН URL: <https://idaten.ru/economic/antiinflyacionnaya-politika-v-sovremennoi-rossii>
4. **Цели и принципы** денежно-кредитной политики // Банк России URL: [https://cbr.ru/dkp/objective\\_and\\_principles/](https://cbr.ru/dkp/objective_and_principles/)

*Д.А. Платонова, студ.,;  
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ КАПИТАЛА, ЕГО РОЛЬ В РЕШЕНИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ КОМПАНИИ**

Каждая компания для осуществления своей деятельности привлекает различные источники финансирования: краткосрочные и долгосрочные. Решения в области управления структурой капитала носят долгосрочный стратегический характер, поэтому в структуре капитала, в отличие от структуры финансирования, краткосрочные обязательства не рассматриваются. Исключение составляет случай, когда долгосрочные активы финансируются за счёт краткосрочных (процентных) средств.

Как цена капитала в целом, так и его составляющих, означает его доходность и определяется в процентах.

Интегральным показателем стоимости капитала выступает средневзвешенная стоимость (Weighted Average Cost of Capital — WACC), которую можно определить по формуле (1):

$$WACC = R_e W_e + R_d W_d (1 - T) \quad (1)$$

где  $W_e$ ,  $W_d$  — доля собственного и заёмного капитала;  $R_e$ ,  $R_d$  — ожидаемая (требуемая) доходность собственного и заёмного капитала;  $(1 - T)$  — налоговый корректор [1].

Управление структурой капитала представляет собой поиск оптимального соотношения собственных и заемных ресурсов, при котором достигается минимальная цена капитала и максимальная стоимость компании. Поиск оптимальной структуры капитала является одной из наиболее сложных проблем теории и практики корпоративных финансов, решение которой требует применения эффективных методов управления: определение оптимального объёма долга; достижение величины рентабельности собственного капитала, превышающей WACC и др.

Структура капитала влияет на его цену. Инвесторы определяют её как ставку, которая отражает альтернативные издержки инвестированного капитала. Минимизация стоимости капитала позволит менеджеру больше объектов инвестирования.

Любая компания сама решает либо использовать только собственные средства, либо дополнительно привлекать заемный капитал. Во втором случае, с одной стороны, повышается вероятность банкротства, с другой — появляется перспектива роста рыночной стоимости фирмы.

### **Литература**

1. **Киршин И.А.** Стратегический финансовый менеджмент: учебное пособие / И.А.Киршин. — Казань, Казан. ун-т, 2019. — 103 с.

*Д.А. Логачев, студ.; рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ)*

## **ФИНАНСОВАЯ ОТЧЕТНОСТЬ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ**

При выборе эффективных стратегий развития предприятия особое значение приобретает информационная база, на основе которой проводится анализ и оценка возможностей предприятия и угроз внешней среды. Такая информация должна в полном объеме отражать действительное финансовое положение предприятия, гарантировать полноту и достоверность информации для стейкхолдеров [1].

Финансовую отчетность часто используют аналитики для проведения анализа по традиционной (бухгалтерской) модели при расчете показателей ликвидности и платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности и рентабельности. Активы компании группируются по степени ликвидности, а пассивы по степени срочности к погашению. Показатели, характеризующие финансовую устойчивость предприятия, рассчитываются также, как и в первом случае — на основе бухгалтерской отчетности. Однако существует различие между методами проведения анализа: при анализе финансовой устойчивости активы и пассивы не группируются, а используются строки бухгалтерского баланса. Для расчета последнего показателя, деловой активности и рентабельности, используется как бухгалтерский баланс, так и отчет о финансовых результатах [2].

Более 90% предприятий проводят анализ по традиционной (бухгалтерской) модели. Результатом расчета показателей является оценка деятельности компании за истекший период, выявление сильных и слабых сторон, а также разработка мероприятий, направленная на устранение негативных факторов, оказывающих влияние на эффективность предприятия.

Однако, помимо преимуществ использования финансовой отчетности, существуют ограничения, которые связаны с оценкой стоимости компании в динамике. В этом случае используется финансовая модель анализа, которая использует не только данные финансовой отчетности, но и рыночную информацию в режиме реального времени. Результаты анализа компании по этой модели используются руководством предприятия для моделирования соответствующих управленческих решений, способствующих улучшению эффективности деятельности компании.

### **Литература**

1. **Евстафьева И.Ю.** Финансовый анализ. Юрайт, 2019.
2. **Сигидов Ю.И.** Бухгалтерская (финансовая) отчетность. ИНФРА-М, 2022.

*А.С. Бережной, студ.; рук. Л.В. Бухарева, к.э.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **УЧЕТНАЯ ПОЛИТИКА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ОПТИМИЗАЦИИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ**

В современных условиях вопросами налоговой оптимизации озадачен каждый хозяйствующий субъект. Налоговая оптимизация предусматривает снижение размера налоговых обязательств фирмы на основе реализации целенаправленных правомерных действий налогоплательщика. Одним из таких законных механизмов является учетная политика.

Выбор учетной политики и ее составление — это очень важный момент в деятельности любого предприятия. Какие группы расходов в ней будут прописаны, какие резервы будут созданы, так и будут формироваться доходы и расходы [1]. Иными словами, учетная политика охватывает методы группировки и оценки фактов хозяйственной деятельности. При правильной работе с учетной политикой предприятие само регулирует, в каком объеме и периоде принять доходы или расходы, когда заплатить налогов больше, а когда меньше [2].

На основе проведенного исследования, можно сделать вывод, что при формировании учетной политики в целях оптимизации налогообложения стоит руководствоваться следующими подходами:

- 1) действующие законодательные нормы позволяют предусматривать несколько способов учета, использование различных методов, что позволяет сократить на правомерной основе налоговые отчисления за счет моделирования учетной политики организации;
- 2) экономический субъект может самостоятельно разработать способы учета в соответствии с ПБУ и МСФО;
- 3) нет необходимости в указании в учетной политике единственно возможных способов учета, что может способствовать оптимизации налогообложения и предоставлять более широкие возможности снижения налоговой нагрузки организации.

Таким образом, на наш взгляд эффективный механизм оптимизации налогообложения должен быть направлен на реализацию рационального подхода к формированию (изменению) учетной политики предприятия, путем использования всех законных способов и нюансов законодательства, способствующих экономии денежных средств и как следствие увеличению доходной базы.

### **Литература**

1. **Информационное бухгалтерское агентство** [Электронный ресурс] / «Группа компаний «Клерк». — Режим доступа: <https://www.klerk.ru>
2. **Харитонов Ю.Н., Дудко Е.А., Ларина В.Р.** Эффективное налоговое планирование как способ оптимизировать налогообложение организации. Экономика и предпринимательство. 2021. № 10 (135). С. 797–800.



*Д.Х. Каранфил, студ.,  
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ КАПИТАЛА КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ СТОИМОСТИ КОРПОРАЦИИ**

В интенсивном развитии компаний капитал играет ключевую роль — его размер и структура определяют не только эффективность деятельности, степень финансовой устойчивости, но и ценность компании, что является важным показателем для инвесторов. В современной теории корпоративных финансов одним из спорных и сложных вопросов является зависимость стоимости компании от структуры ее капитала.

Под структурой капитала следует понимать соотношение заемного и собственного капиталов, привлеченных с целью финансирования развития компании в долгосрочном периоде. Оптимизация структуры капитала подразумевает нахождение оптимума между соотношением источников, которое влечет за собой не только максимизацию стоимости, но и снижение агентских издержек [1].

EVA (Economic Value Added) — ключевой стратегический показатель, позволяющий оценить дополнительный прирост (движение) стоимости компании. Рассчитать показатель можно по формуле:

$$EVA = IC * (ROIC - WACC) \quad (1)$$

Где IC — величина инвестированного капитала; ROIC — доходность инвестированного капитала; WACC — средневзвешенная стоимость капитала.

В динамично изменяющихся российских условиях затруднительно применять зарубежные модели структуры капитала, относительно которых существуют обширные теоретическая и эмпирическая базы, поэтому вопрос разработки отечественных или адаптации зарубежных моделей, с целью максимизации стоимости (EVA) весьма актуален. На основании проведенных исследований отечественных и зарубежных авторов можно выделить следующие направления при определении оптимальной структуры капитала:

- Обеспечение финансовой устойчивости;
- Минимизация средневзвешенной стоимости капитала (WACC);
- Обеспечение приемлемого уровня доходности.

Таким образом, грамотно выстроенная финансовая политика в разрезе оптимизации структуры капитала в долгосрочном перспективе должна стать драйвером стоимости компании.

### **Литература**

1. **Ивашковская, И.В.** Корпоративные финансовые решения. Эмпирический анализ российских компаний (корпоративные финансовые решения на развивающихся рынках капитала). — ИНФРА-М, 2020.

*Я.Д. Бушмакии, студ.;*  
*рук. Д.А. Смирнова, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОРТФЕЛЬНОЕ ИНВЕСТИРОВАНИЕ ЮРИДИЧЕСКОГО ЛИЦА И УПРАВЛЕНИЕ ИМ**

Возросший в последние годы интерес к инвестированию среди населения России порождает огромное количество разной информации. Но что странно, так это отсутствие информации, касающейся юридических лиц. Инвестиционной деятельностью можно заниматься не только от имени физического лица, но и от имени юридического.

Вкладывать всю прибыль от бизнеса в единственный инструмент — ненадежно. Необходим альтернативный денежный поток, не связанный с основной деятельностью компании. Такой поток могут обеспечить инструменты фондового рынка. Это поможет не только сберечь денежные средства от инфляции, но и преумножить их. Кроме того, брокерский счет позволяет решать поставленные задачи эффективнее, сократить расходы при конвертации валюты, оптимизировать краткосрочное размещение свободных денежных средств, хеджировать свои риски [1].

Возможно ли юридическому лицу вкладывать в ценные бумаги средства для получения дополнительной прибыли, не затрачивая на это много времени и сил? Да, существует несколько основных способов: использование доверительного управления, премиальные услуги брокерских компаний, наличие собственного управляющего — трейдера [2].

Может, лучше вложить денежные средства в понятный способ инвестирования — депозит в банке? Ставки по депозитам небольшие и доходность меньше, что показывает расчет. Еще один недостаток — риски. Вклады организаций не защищены системой гарантирования вкладов. А также при досрочном изъятии денежных средств часто теряются проценты.

При инвестировании в фондовый рынок не гарантируется доходность и точное прогнозирование поведения ценных бумаг, поэтому существует риск потери вложений. Но при этом, как показывает практика, инвестиционная деятельность компании может приносить хорошую прибыль, которая иногда соразмерна с прибылью от основного вида деятельности.

В работе изучены особенности портфельного инвестирования, рассмотрены и сравнены различные способы управления портфелем, выявлены их положительные стороны и недостатки, а также проведено сравнение портфельного инвестирования и вложения средств на депозитный счет в банк.

### **Литература**

1. **Коттл С.** «Анализ ценных бумаг» Грэма и Додда / Р.Ф. Мюррей, Ф.Е. Блок. — Вильямс: Олимп-бизнес, 2000. — с. 704. [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://biblio-trade.com/kottl.html>.
2. Тинькофф журнал [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/>.

*А.В. Чуева, студ.; рук. Ю.Н. Харитонов, к.э.н., доцент (НИУ МЭИ)*

## **КАК ЭФФЕКТИВНО ОРГАНИЗОВАТЬ ПРОЦЕСС БЮДЖЕТИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Известно, что бюджетирование — это единая система, на которой строится эффективное управление деятельностью компании. Именно поэтому, на сегодняшний день предприятия оперативно ищут новые пути для грамотного составления бюджетного плана на определенный период и прогнозирования финансовых показателей, что подтверждает актуальность темы исследования.

Если рассматривать различные предприятия, то можно заметить, что каждое независимо от сферы своей деятельности, от размера предприятия и правовой формы в ходе работы ведет учет и планирование финансов. В традиционном понимании бюджетирование в организации представляет собой финансовый план, который представляет все виды доходов и расходов. Этот план помогает оптимально распределять денежные потоки с максимальной выгодой для компании [1].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что бюджетирование — это основа экономического планирования для любого предприятия, а верно составленный бюджет показывает возможные доходы и позволяет распределить их с максимальной выгодой.

Важной проблемой остается то, что работа менеджеров эффективна только та, которая относится к краткосрочным целям: достижение плановых показателей, снижение издержек и т.д. Также бюджетирование на основе показателей прошлых периодов с корректировкой приводит к тому, что на предприятии забывают об инновационном развитии. Третья проблема связана с недостаточным уровнем мониторинга, т.е. нерегулярность анализа приводит к некорректной оценке результатов, что приводит к неверным бюджетным показателям будущего периода.

Таким образом, необходимо придумать и включить в работу некоторые обязательные стандарты бюджетирования, в которых последовательно будут прописаны принципы, технологии и этапы бюджетирования. Также должны присутствовать правовые документы, обязанности, полномочия и ответственность всех участников процесса. Это даст возможность выстроить такой механизм, который не только считает цифры, но и позволяет добиваться результата.

### **Литература**

1. <https://www.business.ru/article> — информационный интернет — портал о бизнесе, налогах инвестициях в РФ.

*Д.А. Смирнова, соиск.;  
рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СОЧЕТАНИЙ ВАРИАНТОВ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЁРСТВА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Проведя обзор состояния энергетической отрасли в Российской Федерации, выявлена острая нехватка инвестирования в отрасль, которую можно решить, привлекая частный капитал. Но энергетическая отрасль обладает рядом особенностей, связанными, в первую очередь, с высокой величиной необходимых инвестиций и длительным сроком возврата вложенных средств, а также с их низкой доходностью. Данные особенности осложняют привлечение частных инвестиций в отрасль. Поэтому применяются механизмы государственно-частного партнёрства (ГЧП) как форма сотрудничества государства и частного бизнеса для привлечения инвестиций последнего в экономику с целью извлечения взаимной выгоды [1]. Согласно данным Министерства экономического развития Российской Федерации, к таким механизмам относятся: 1) Концессионные соглашения; 2) Соглашения о государственно-частном (муниципально-частном) партнёрстве [1].

В работе рассмотрены и другие возможные варианты сотрудничества государства и частного сектора такие, как: аренда, государственные контракты с инвестиционными обязательствами, соглашения о разделе имущества, контракты, сочетающие различные виды работ в отношении собственности, которые образуют, так называемую, группу проектов квази-ГЧП. Описаны достоинства и недостатки каждого варианта сотрудничества.

Предложен механизм принятия решений о сочетании вариантов государственно-частного партнёрства, учитывающий взаимодействие участников в рамках тарифной политики, накладывающей ограничения на их взаимодействие в энергетике.

Каждый из рассмотренных вариантов ГЧП имеет свои ограничения по возможным действиям участников, особенно частного инвестора. Так же учитываются финансовые возможности инвестора и имеющаяся исходная информация о состоянии энергетического имущества, предполагаемого к улучшению в рамках проекта ГЧП.

Предложенный механизм включает в себя экспресс-оценку эффекта вариантов ГЧП на основе частных интересов каждого участника, что позволит принять решение о потенциальном участии в проекте.

### **Литература**

1. Официальный сайт Министерство экономического развития Российской Федерации.

**Секция 30**  
**ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ**  
**Industrial economics**

---

*Председатель секции: к.э.н., доцент Шувалова Дарья Георгиевна*

*Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна*

Д.А. Анахов, студ.; рук. Л.В. Бухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ФОРМИРОВАНИЕ ДОХОДОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Актуальность данного исследования в том, что особое значение для финансового состояния компании и ее дальнейшего развития имеют вопросы, которые напрямую связаны с формированием доходов и расходов организации, их анализом и оптимизацией величины.

Один из результатов деятельности аптечной организации — это сумма его доходов. Они являются источником возмещения всех затрат, связанных с ее деятельностью, реализуя задачу обеспечения аптечной организацией самокупаемости своей текущей деятельности.

Доходы компании — это прирост экономической выгоды в результате наращивания ее активов, а также гашения обязательств, которые приводят к возрастанию ее, исключая вклады участников.

Факторы влияния на доход от реализации в компаниях аптечного бизнеса следующие: основной — это объем реализации; структура групп реализации и внутригрупповой ассортимент товаров. Большой доход дает аптечным организациям реализация парафармацевтических товаров; политика цен, учитывая рыночные механизмы ценообразования — спрос и предложения [1].

Источники доходов, получаемые аптеками: доходы от реализации лекарственных препаратов заводского и собственного производств и иных товаров ассортимента аптек, приобретенные у оптовых поставщиков (доход от торговой деятельности); платные фармацевтические услуги; доходы от реализации имущества аптечной организации.

На конечные итоги по фармацевтическому сегменту рынка в 2020 г. оказали самое значимое влияние потребители и их реакция на COVID-19. В результате рынок России показал прирост выше, чем давали прогнозы в начале 2020 г. (10% вместо прогнозных 5–6%. Его объем достиг 2 040 млрд. руб. против 1 858 млрд. долл. в 2019 г.) [2].

Результаты исследования видятся в разработке мероприятий по увеличению доходов от основных видов деятельности конкретной аптечной организации для повышения эффективности ее бизнеса.

### Литература

1. **Экономика аптеки** — [Электронный ресурс]. Режим доступа (свободный): <https://iq-provision.ru/articles/ekonomika-apteki> (дата обращения 10.10.2021)
2. **Фармацевтический рынок России 2021: влияние пандемии и стратегии развития** — [Электронный ресурс]. Режим доступа (свободный): <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/farmatsevticheskiy-rynok-rossii-2021-vliyanie-pandemii-i-strategii-razvitiya/> (дата обращения 10.10.2021)

*М.С. Макаров, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ МЕР ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ТАРИФЫ ПОСТАВЩИКОВ ЭНЕРГИИ**

В технологически развитых отраслях, такой как энергетика, технические аспекты работы оборудования оказывают критически важное воздействие на экономические показатели работы энергообъектов. Также важным является обеспечение безопасности как энергетических объектов, так и бесперебойность поставок к потребителям энергии.

Таким образом, государственное регулирование имеет большое влияние на эффективность отраслевого производства, так как его целями в энергетике первоначально является безопасность и бесперебойность поставок энергии и её доступность населению, промышленным предприятиям и прочим сферам потребления. В силу социальной значимости отрасли к ней обращено пристальное внимание регуляторных органов, как в сфере тарифного дела, так и в области регулирования технического состояния внеоборотных активов.

Тарифные последствия влияния государства на отраслевые организации важно оценивать потому, что энергетика, являясь одной из ключевых отраслей в современной промышленности, переносит стоимость своих продуктов, таких как генерация и доставка энергии или обслуживание сетей, практически на все товары повседневного спроса от гаек и шурупов производимых небольшой компанией на десять рабочих мест, до автомобилей и других высокотехнологичных продуктов над созданием которых трудятся крупные производственные организации с десятком тысяч рабочих мест.

Оценить эффект от регулирования реально, поскольку имеются все нормативные документы, на основании которых появляется возможность просчитать прстои оборудования и персонала вследствие регуляторных мероприятий, степень зависимости тарифов для одних групп потребителей от других и прочее, и базовая информация о тарифах и технических характеристиках объектов энергетике, подпадающих под регулирование. Благодаря этому появляется возможность объективно оценить степень влияния регулирования на тарифы поставщиков энергии.

Исходной информацией для оценки являются техническая документация по котельной и государственные нормативные акты, данные по нормированию труда и прогнозная выручка по тарифу.

Методика оценки затрат на регулирование схожа с инструментом оценки вмененного дохода и сводится к расчету потенциальной прибыли и убытков от действий регулятора. Потенциал экономии зависит от конкретного объекта регулирования, например, для котельной он может достигать значительных показателей.

*А.Р. Нурисламова, асп.;*  
*рук. И.Г. Ахметова, д.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТАРИФОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Важнейшим принципом, на который ориентировано государственное регулирование тарифов является соблюдение баланса экономических интересов теплоснабжающих организаций и потребителей: тариф на тепловую энергию должен не только учитывать компенсацию необходимых расходов регулируемой организации, но и быть доступным для потребителя [1].

До 2017 года существовало 4 метода регулирования тарифов: метод экономически обоснованных расходов (затраты +); метод индексации установленных тарифов; метод обеспечения доходности инвестированного капитала или «RAB — регулирование»; метод сравнения аналогов. Основным являлся метод экономически обоснованных расходов (затраты +).

Но многие проблемы, такие как отсутствие качественной статистики, высокий уровень изношенности тепловых сетей, увеличение потерь, низкая эффективность работы систем централизованного теплоснабжения, высокие тарифы на тепло, оставались нерешенными на протяжении многих лет.

В 2017 году в нормативные документы были внесены серьёзные изменения. Законодательство выделяет формирование ценовых зон. Ценовые зоны теплоснабжения — населенные пункты, которые по решению местной власти перешли на метод «альтернативной котельной», то есть те, где цены на тепловую энергию для потребителей ограничены предельным уровнем.

При методе «альтернативной котельной» все производители тепла должны продавать тепло по единой цене. Если их затраты выше, они будут вынуждены либо повысить свою эффективность, либо уйти с рынка. При этом полученную от повышения эффективности экономию теплоснабжающие компании смогут направить на инвестиции.

Этот проект не решает всех институциональных проблем (и особенно проблему взаимодействия рынков тепла и электроэнергии), но позволяет перейти на более рыночные отношения в сфере теплоснабжения и модернизировать.

### **Литература**

1. **Никулина Н.Л.** Механизм обеспечения экономической безопасности с позиции пространственного развития регионов РТ // Вестник БГУ. Экономика и менеджмент. 2020. № 3.



*Д.В. Каширов, студ.; рук. к.э.н., А.В. Горбенко (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗОЫСКАНИЙ**

В научной литературе широко представлен методический инструментарий для оценки конкурентоспособности предприятия [2]. В связи с тем, что предприятия в области инженерных изысканий получают заказы посредством системы конкурсных торгов, существующие подходы для оценки конкурентоспособности необходимо усовершенствовать.

Общие принципы, правила и требования к выполнению инженерных изысканий определены в СП 47.13330.2012 [1], именно поэтому продуктовые подходы к оценке конкурентоспособности не применимы.

Автором проведен анализ тендерной деятельности ООО «Предприятие «ГВИН-ПИН» за последние шесть лет (2017–2022 годы) в области инженерных изысканий (код по ОКВЭД 71.12).

Сосредоточив свое внимание только на тех торговых процедурах, где в конкурсе одержал победу конкурент исследуемого предприятия, автором установлено, что в конкурсной документации оценивалось не более трех критериев: цена контракта, количество привлекаемых специалистов соответствующей квалификации (инженеры, не менее 10 человек), опыт (наибольшее количество аналогичных по предмету конкурса и минимальной цене контрактов, подтвержденных актом приёмки выполненных работ).

Исходя из вышеназванных критериев, матричные подходы (иногда их еще называют маркетинговые подходы) и комплексные подходы (учитывающие показатели качества продукции) слабо применимы к исследуемым предприятиям. Автором предлагается усовершенствовать методический инструментарий для оценки конкурентоспособности предприятия на основе теории эффективной конкуренции, добавив к критериям финансовой устойчивости предприятия показатели, оценивающие штат сотрудников и опыт работы компании как в секторе госзакупок, так и в коммерческих системах конкурсных торгов.

Данное исследование представляет ценность для руководителей тендерного отдела предприятий, осуществляющих деятельность в области инженерных изысканий.

### **Литература**

1. СП 47.13330.2012 Свод правил «инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
2. Фомичев В.И. Управление качеством и конкурентоспособностью: учебник для вузов. — М.: Издательство Юрайт, 2022. — 156 с.

*А.М. Демидова, студ.;*  
*рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ПО УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК**

Экологические проблемы представляют огромную опасность для жителей всего земного шара. Человечество старается сократить отрицательное воздействие человека на экологию путем экономии природных ресурсов, снижения вредных выбросов в атмосферу, переработки отходов и т.д.

Автомобильный транспорт играет большую роль для обеспечения жизни людей. Но он так же является одним из источников загрязнения окружающей среды. Стоит заметить, что во время эксплуатации транспортных средств образуется значительное количество отходов, большую опасность среди которых представляют собой изношенные автомобильные шины, которые сложно собирать и утилизировать [1].

В городах-миллионниках с высокой обеспеченностью транспортными средствами (Москва, Санкт-Петербург, Краснодар, Екатеринбург, Самара, Воронеж) остро стоит вопрос утилизации автомобильных покрышек [2]. До 2019 года основным методом утилизации шинных отходов было захоронение их на специализированных полигонах, но с 2019 года данный метод был запрещен. Одним из методов экологичной переработки шин является измельчение покрышек, в результате на выходе производственной линии получается 3 вида востребованного сырья: резиновая крошка; частицы металлической проволоки; обрезки кордовой нити. Металл отправляется на переплавку, текстильный корд применяется для производства горюче-смазочных материалов, а измельченные частицы резины идут на производство резиновой плитки, брусчатки, бордюров, рулонных и бесшовных спортивных травмотехнических покрытий.

В работе рассмотрены технологические особенности переработки автомобильных покрышек, подобрано основное оборудование и проведен расчет капиталовложений, рассчитана себестоимость продукции, получаемой в процессе переработки.

Дальнейшее исследование будет направлено на оценку эффективности инвестиционного проекта.

### **Литература**

1. **Шуддякова, К.А.** Воздействие автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека // Молодой ученый. — 2016. — № 20 (124). — С. 472–477.
2. **Официальный сайт Росстата** [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/>

*А.В. Лукин, асп.;*  
*науч. рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ УСЛОВНЫХ ЕДИНИЦ**

Системе учета электросетевых активов в виде условных единиц используется в основном для целей тарифного регулирования, однако в последние десятилетия находит свое применение в системе управления инвестициями в модернизацию оборудования. Модель расчета экономического эффекта процесса модернизации электросетевого хозяйства на базе системы условных единиц дает представление о достигнутом результате на основе комплексных показателей снижения трудозатрат на обслуживание и ремонт активов.

Основной проблемой сравнительного анализа результатов модернизации оборудования с использованием системы условных единиц, является тот факт, что сама система условных единиц крайне устарела, не учитывает, как отдельные единицы оборудования, так и целые системы: автоматики, телемеханики, релейной защиты и т.д., ведь она применяется практически в неизменном виде со времен приказа Министерства энергетики и электрификации СССР № 51 от 26.01.1987 года.

В основу моделирования положен принцип подобия инновационного оборудования и его традиционных предшественников, позволяющий оценивать экономический эффект модернизации на основании показателей, применяемых для оценки эффективности действующего оборудования, поскольку изменение технических характеристик оборудования не приводит к изменению его назначения и выполняемых функций, а значит сохраняются основные показатели эффективности процесса.

Расчеты показывают значительное снижение затрат на обслуживание и ремонт при внедрении инновационного оборудования. При замене высоковольтного выключателя 500 кВ с воздушного на элегазовый, в комплексе с сопутствующим оборудованием), трудозатраты на его обслуживание и ремонт снижаются в 10 раз, что вызовет структурные изменения в себестоимости передачи и изменение ее величины.

Таким образом, применение модели расчета экономического эффекта модернизации электросетевого хозяйства, с применением инновационного оборудования, на базе системы условных единиц, позволяет достоверно оценить результаты проведенной модернизации, направить высвободившиеся ресурсы на другие аспекты хозяйственной деятельности и осуществить планирование капитальных вложений на будущий период, что является исключительно важным направлением развития энергетики в условиях цифровой трансформации.

*И.О. Лапин, студ.; рук. О.Г. Коновалова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗ ВЛИЯНИЯ СВАМ НА РОССИЙСКИХ ЭКСПОРТЕРОВ И ЭКОНОМИКУ РОССИИ В ЦЕЛОМ**

В июле 2021 года в рамках законодательного пакета инициатив в области климатической политики «Fit for 55» Европейской комиссией начала широко обсуждаться инициатива о введении механизма пограничной углеродной корректировки (СВАМ — Carbon Border Adjustment Mechanism). Данное событие заставило Правительство РФ уделить особое внимание вопросу создания собственной системы торговли выбросами к началу периода «частичного действия» (к 2026 году), а также анализу экономических выгод и издержек от такого действия.

В рамках работы с помощью регрессионного и корреляционного анализа была спрогнозирована средняя цена для расчета выплат по СВМ к 2026 году, равная 154,36 евро, а также рассчитаны возможные потери чистого экспорта из-за механизма пограничной углеродной корректировки при бездействии Правительства РФ, оцениваемые в 175 миллионов евро с учетом бесплатного квотирования в размере 90% и нововведенных санкций на продукцию сектора цемент, удобрения, железо и сталь. Бездействие Правительства РФ в данном вопросе из-за эффекта мультипликатора способно привести к потерям ВВП на сумму от 584 до 1750 миллионов евро в зависимости от колебаний величины предельной склонности к потреблению. Для экономики России в целом приоритетом является создание собственной системы торговли выбросами при полной компенсации изменения в инвестиционных расходах увеличением расходов государственных. При успешной реализации такого сценария потери ВВП возможно уменьшить на 19,5% или 113–340 миллионов евро. При отсутствии увеличения государственных расходов после создания собственной системы торговли выбросами с таким же процентом бесплатных квот ВВП России потеряет не менее 4,7 миллиардов евро. Основываясь на результатах работы, был сформулирован вывод об отсутствии оснований для немедленной реализации системы торговли выбросами в России.

### **Литература**

1. «Европейский механизм пограничной углеродной корректировки — ключевые вопросы и влияние на Россию» / И. Гайда [и др.] — Московская школа управления Сколково 2021 [[https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/SKOLKOVO\\_EneC\\_RU\\_CBAM.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/SKOLKOVO_EneC_RU_CBAM.pdf)]
2. «Эффективность Европейской системы торговли квотами на выбросы ПГ и ее эволюция» / Башмаков И.А. — «Экологический вестник России» 2018. № 4. — С. 32–41. [[http://www.cenef.ru/file/Bashmakov\\_25.pdf](http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_25.pdf)]

*А.Д. Шилина, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Проведение анализа хозяйственной деятельности необходимо для выявления методов повышения эффективного функционирования предприятий с целью снижения стоимости конечной продукции и повышения его конкурентоспособности на рынке.

Топливо-энергетические ресурсы играют важную роль в процессе производства, а их экономия ведёт к значительному снижению накладных расходов.

По данным Минэкономразвития России за 2018 год, более 80% потребления ТЭР приходится на четыре наиболее энергоемких сектора: электро- и теплоэнергетика, обрабатывающая промышленность, население и транспорт.

Инструментами АХД, позволяющими определить экономию, являются логические способы обработки информации, способы детерминированного факторного анализа, способы стохастического факторного анализа и методы оптимизационного решения экономических задач [1].

Чем больше предприятие производит продукции при меньших затратах на электроэнергию, тем оно является более энергоэффективным. Для достижения энергоэффективности необходимо постоянно проводить мероприятия по модернизации производства путем замены технологического оборудования на более производительное с меньшим потреблением электроэнергии. С целью проведения такой оптимизации производства и оценки её эффективности необходимо проводить энергетическое обследование (энергоаудит) с оформлением энергетического паспорта предприятия.

Для планирования проведения модернизации производства необходимо произвести экономические расчёты, обосновывающие затраты на замену технологического оборудования. При этом также необходимо оценивать потребность рынка и конкурентоспособность предприятия.

В рамках проведенного исследования был рассчитан потенциал экономии при применении энергосберегающих технологий в производстве, который может составлять до 10%. Это позволяет в рамках анализа выявить резервы для внедрения модернизационных мероприятий и повысить эффективность работы организации.

### **Литература**

1. **Савицкая Г.В.** Теоретические основы анализа хозяйственной деятельности, Москва: ИНФРА — М, 2020.

*М.С. Скиба студ.; рук. В.В. Бологова к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)*

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ ПАО «РУСГИДРО»**

Управление инвестиционной деятельностью на предприятии достаточно сложный процесс и требует системного подхода. От качества применяемого механизма при разработке, планировании, контроле и управлении инвестиционной деятельностью зависит ее эффективность.

Целью работы являлся анализ факторов, влияющих на принятие инвестиционных решений [1] и разработка организационно-экономической модели управления инвестиционной деятельностью энергогенерирующих компаний. Объект исследования — ПАО «РусГидро»

В работе были изучены особенности деятельности ПАО «РусГидро» на Дальнем Востоке, составлена факторная модель и проведен анализ влияния различных факторов на эффективность инвестиционных решений при развитии компании, разработана организационно-экономическая модель управления инвестиционной деятельностью энергокомпаний, что и является научным результатом. При выполнении работы были в том числе учтены особенности деятельности энергокомпаний в условиях цифровизации отрасли. Интегральным критерием оценки является показатель, оценивающий изменение эффективности финансово-экономической деятельности энергокомпаний в современных условиях. При разработке модели учтены особенности управления, мониторинга и реализации приоритетных направлений инвестиционной деятельности при развитии предприятия. По итогам проведенного анализа научных статей был сделан вывод о том, что в настоящее время нет системного подхода, который позволит управлять в совокупности следующими элементами: разработка стратегии и привлечения финансирования в проект, управление рисками, управление деятельностью персонала, а также управление ресурсами на предприятии.

В результате проведенного исследования и анализа была разработана организационно-экономическая модель управления инвестиционной деятельностью, включающий инструменты таких методов управления, как «тайм-брифинг», «краудфандинг», «краудинвестинг», применение математического моделирования эффективности распределения ресурсов. Использование предлагаемой модели позволит повысить эффективность инвестиционной деятельности энергокомпаний.

### **Литература**

1. **Чукаев А.Н.** Организационно-экономические аспекты совершенствования инструментария повышения эффективности региональных инвестиционных проектов // инновации и инвестиции, 2019 г. С. 27–31.

*А.Е. Джумагазиев, студ.;*  
*рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕЖОТРАСЛЕВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В ТЭК**

На сегодняшний день складываются все условия для перехода к межотраслевой (вертикальной) интеграции для российского топливно-энергетического комплекса, который способствует технологическому единству, укрупнению, а также концентрации бизнеса.

Под межотраслевой интеграцией понимается капиталоемкая и долгосрочная стратегия кооперации из независимых производителей, поставщиков и продавцов в рамках одной компании для создания собственного производственно-коммерческого цикла (от добычи сырья до сбыта конечной продукции), что позволит получить конкурентные преимущества на рынке от роста технологической связности стадий производства. [1]

Целью данного исследования является — поиск и создание новых аналитических инструментов для распознавания рисков и анализ положительных эффектов компании от интеграции и межотраслевой кооперации при помощи растущего потенциала современных информационных технологий.

Низкий уровень интеграции в энергетической сфере влечет за собой ограниченную диверсификацию выпускаемой продукции как внутри одной отрасли, так и между ними и, следовательно, снижение новых комбинаций уже имеющихся продуктов. [1]

Вертикальная интеграция позволит: сократить транзакционные издержки благодаря нерыночной координации взаимодействия; обеспечить организацию поставок сырья в более сжатые сроки; выпускать продукцию, издержки на которую складываются из цен ниже рыночных; повысить конкурентоспособность российских компаний за рубежом; диверсифицировать источники инновационных технологий и концепций.

В условиях высокой неопределенности экономический рост развитых стран и технологическая модернизация производственных цепочек обеспечиваются за счет создания масштабных вертикально интегрированных структур, вносящих весомый вклад в научно-технический прогресс, формирование ВВП, и становятся катализаторами роста всей национальной экономики.

### **Литература**

1. **В.В. Ключков.** Технологические факторы эффективности межотраслевой интеграции высокотехнологичных отраслей промышленности // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. — 2020. — № 1. — С. 68–80.

*М.О. Бубнова, студ., рук. Д.Г. Шувалова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЛИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ BPM СИСТЕМ**

Повышение нестабильности (турбулентности) внешней среды и возрастание роли информационных технологий как экономического ресурса ставит перед современным управлением новые задачи. Для крупных энергетических компаний наличие системы контроллинга в современных рыночных условиях крайне необходимо для прибыли организации при минимизации издержек производства.

BPM (англ. business process management, управление бизнес-процессами) — концепция процессного управления организацией, рассматривающая бизнес-процессы как особые ресурсы предприятия. Исполнение бизнес-процессов в автоматизированных системах позволяет проводить анализ процессов и их дальнейшую оптимизацию. ИС предоставляют статистическую информацию о протекании процессов. Модуль контроллинга обрабатывает данную информацию, сопоставляя ее с моделью процесса [1].

В РФ на настоящее время более 3000 проектов внедрения BPM-систем. Традиционно наибольшая часть внедрений зарегистрирована в Москве. В лидерах внедрения также находятся Санкт-Петербург, Казань, Екатеринбург, Нижний Новгород.

Существуют барьеры по развитию этого направления — от финансовых, так как покупка данного программного обеспечения стоит очень дорого до информационных, когда руководство компаний не знают о BPM системах. Проблемы недостаточно разобраны и слабо освещаются в разрезе рассмотрения использования BPM систем в построении контроллинга на предприятии.

Исходя из вышеописанного, BPM является перспективным направлением в работе энергокомпаний. В связи с этим предложен базовый принцип построения системы контроллинга с использованием информационных технологий, основанный на поэтапном формировании управленческих решений с пониманием важности внедрения BPM систем в структуру управления организации.

### **Литература**

1. **Бабинцев В.А.** Проектирование и контроллинг бизнес-процессов // PC Week Review, ноябрь 2008.



*А.В. Кузнецова, студ.;*  
*рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ВЛ ПРИ РАСЧЁТЕ ПО УКРУПНЁННЫМ НОРМАТИВАМ ЦЕН**

В настоящее время для расчёта капитальных затрат на строительство объектов электросетевого хозяйства используют «Укрупненные нормативы цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства» (далее — УНЦ) [1]. Как и большинство нормативно-правовых актов и методических пособий УНЦ не совершенны. В частности, УНЦ не содержат процентного соотношения различных составляющих рассматриваемого объекта электросетевого хозяйства.

В данной работе рассчитана стоимость ВЛ со следующими параметрами: 220 кВ, 1×1×250 (количество ВЛ×цепность×протяжённость, км), марка провода — АС-240. Расположение: Тюменская область.

### **Расчёт стоимости ВЛ (на 01.01.2018), доли составляющих**

<b>Составляющая</b>	<b>Расценка</b>	<b>Цены, тыс. руб.</b>	<b>Расценка регион. индекса</b>	<b>Регион. индекс</b>	<b>Стоимость, млн руб.</b>	<b>Доли, %</b>
СМР	Л1-05-1	4684/1 км	Ц2-72-5	1,55	1815,1	57,94
Опоры	Л3-05-1	2756/1 км	Ц2-72-35	1,04	716,6	22,88
Провод	Л5-06	895/1 км	Ц2-72-35	1,04	232,7	7,43
ОКГТ	О1-04-2	776/1 км	Ц2-72-35	1,04	201,8	6,44
ПИР	П3-28	137828	-	-	137,8	4,4
ДПТ	П9-25	93/1 км	-	-	23,3	0,74
Кадастровые работы	П10-01-1	2151/100 км	-	-	5,4	0,17
<b>ИТОГО</b>	-	-	-	-	<b>3132,5</b>	<b>100</b>

Благодаря данному исследованию становится ясно, что строительно-монтажные работы составляют до 60% от стоимости, что свидетельствует о трудоёмкости строительства ВЛ. Следующие позиции по убыванию занимают основные элементы ВЛ: опоры и провод. Для достижения снижения стоимости строительства следует влиять именно на эти составляющие.

### **Литература**

1. Приказ Министерства энергетики РФ «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства» от 17.01.2019 № 10.

*А.И. Белякова, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Цифровая трансформация — качественное изменение бизнес процессов или экономической деятельности за счет внедрения цифровых технологий. Цифровизация не нова в энергетике, но это очень важный процесс, в котором автоматизируются, физические и бизнес-процессы переводятся в цифровую среду, внедряются более гибкие процессы управления.

По результатам цифровых пилотных проектов энергетические предприятия добились: роста выручки на 2–3%; снижения капитальных затрат на 4–5%; снижения операционных расходов на 2–7%. Ожидается, что к 2024 году цифровая трансформация российской энергетики сократит продолжительность технических отключений на 5%, а количество инцидентов на объектах — на 20%.

Проведенный обзор научной литературы сформировал ряд вопросов. Некоторые авторы выявляют положительное влияние цифровизации в отрасли в направлении повышения технико-экономических показателей. Ядерные электростанции являются объектами повышенной опасности, и в этой связи ряд авторов предлагают на данных объектах применять дополнительную реальность, которая поможет снизить риски при эксплуатации и защитить территории, персонал, окружающую среду. Другой стороной цифровизации отрасли является повышение сложности операционного сопровождения процесса. Из этого вытекает необходимость в подготовке более квалифицированных кадров, которые могли бы работать на современном оборудовании [1].

В дальнейшем планируется рассмотреть процесс цифровизации энергетической отрасли на примере цифровых проектов и оценить эффективность их внедрения в энергетике. Так, например, в ГК «Росатом» реализуется Единая цифровая стратегия (ЕЦС). Создание цифровых продуктов в первую очередь для внутренних нужд ГК «Росатом» будет способствовать улучшению качества производимой компанией продукции, а также являться ее конкурентным преимуществом.

Объектом исследования выступают процессы цифровизации в энергетике.

Эффективность внедрения цифровизации представляет собой актуальную научную проблему, имеющую существенное значение для развития энергетики страны.

### **Литература**

1. Гибадуллин, А.А., Камчатова, Е.Ю., Дегтярева, В.В., Зеленцова, Л.А. Анализ и оценка готовности энергетической отрасли к процессам цифровизации // Инновации в жизнь. — 2019. — No 4.

*Т. Джамал, асп.; рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ИОРДАНИИ**

Проблемы, с которыми сталкивается промышленность Иордании, сказываются на его производительности и конкурентоспособности по сравнению с остальным миром. В работе проанализирован ряд проблем индустриального сектора, которые оказывают влияние на формирование плана экономического развития страны.

Наиболее важной проблемой является рост цен на энергию, способствовавший ослаблению конкурентоспособности иорданской промышленной продукции по сравнению с импортом товаров из стран с низкой себестоимостью производства.

Кадровые проблемы, стоящие перед промышленным сектором связаны с прекращением регистрации иностранных работников по некоторым профессиям под предлогом снижения местной безработицы, это негативно сказалось на промышленном секторе. В промышленном секторе существует ряд затруднений при трудоустройстве.

Одной из проблем, стоящих перед иорданским промышленным сектором, является геополитическая ситуация в регионе. Несмотря на способность отрасли адаптироваться к окружающим условиям, она считается наиболее пострадавшим сектором экономики от политических потрясений в соседних странах. Более 90% национального экспорта было потеряно в связи с закрытием границ с Сирией и Ираком, из них на промышленный экспорт приходится около 30% национального экспорта [1].

В стране отсутствует поддержка в получении финансирования для малых и средних предприятий, доля которых составляет более 98% от общего числа промышленных компаний страны. Доля кредитных средств, предназначенных для промышленного сектора, не превышает 12% от общего объема кредитования, предоставляемого коммерческими банками [1]. Несмотря на выдвигаемые инициативы Центрального банка Иордании в области финансирования малых и средних предприятий, коммерческие банки по-прежнему несколько консервативны в направлении финансирования этих компания, что затрудняет экономическое развитие промышленности страны.

### **Литература**

1. Иордания — Промышленное производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ru.tradingeconomics.com/jordan/industrial-production> (дата обращения: 08.11.2022).

*О.А. Власов, студ.;  
рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доцент (НИУ “МЭИ”)*

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЭС В РФ В РАЗЛИЧНЫХ ЦЕНОВЫХ ЗОНАХ**

Есть несколько факторов, влияющих на развитие солнечной энергетики в России: климатические условия, государственная поддержка, стоимость солнечных фотоэлектрических установок, экологические нормы. Несмотря на быстрые темпы развития солнечной энергетики во всем мире, в России солнечная энергетика считается в настоящее время коммерчески не конкурентоспособной, а проекты с ее использованием — неустойчивыми в плане окупаемости. Строительство солнечных электростанций в России преимущественно развивается с использованием механизма договора о предоставлении мощности (ДПМ) на территории юга Европейской части России и Урала (в рамках ЕЭС) [1]. В изолированных энергосистемах строительство солнечных электростанций (СЭС) не получило большого распространения [2]. Для ценовых зон эффективно работает программ ДПМ ВИЭ, которая обеспечивает окупаемость новых солнечных электростанций.

В данной работе оценивается экономическая привлекательность использования солнечных электростанций в неценовых зонах и территориально изолированных территорий. В Якутии и дальневосточных регионах — наблюдаются прекрасные условия для развития солнечной энергетики. Инсоляция очень высокая и отмечается большое количество солнечных дней в году. На этих территориях России солнечная энергетика имеет перспективу и условия для активного развития за счет быстровозводимых, не требующих поставок топлива солнечных электростанций высокой заводской готовности. Кроме того, возможно повышение эффективности работы электростанции, если использовать на ней разные виды генерации.

Рассмотрены варианты эксплуатации СЭС и комбинированных электростанций с солнечных генераций в различных ценовых зонах. Показаны варианты наиболее экономически эффективные варианты.

### **Литература**

1. **Постановление Правительства РФ** от 04 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [Электронный ресурс] (ред. от 31.12.2021).
2. **Аналитический доклад** “Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России — Аналитический центр при правительстве Российской Федерации, 2020.

*Д.В. Алькаев, студ.; рук. Ю.Г. Коломиец, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТИВНЫЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ**

Пунктом 11 Указа президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 20 Цифровая трансформация энергетической инфраструктуры обозначена в качестве одного из приоритетных направлений. Для этого будут затронуты практически все сферы ТЭК России — это электроэнергетика, нефтегазовый комплекс, угольная промышленность. В качестве результатов для электроэнергетики планируются [1]:

- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI/SAIFI) на 5% к 2024 году;
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% к 2024 году без повышения затрат на поддержание технического состояния;
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов к 2024 году.

Проведенный обзор научной литературы показал, что одним из перспективных направлений для отрасли является развитие такого направления как «Активный потребитель» (АП). При развитии данного направления в электроэнергетике, будет возможно:

- Управлять спросом (за счет маневренного энергопотребления);
- Управлять собственной генерацией (потребление и определение объема для продажи);
- Управлять накоплением электроэнергии (накопление/потребление/продажа).

Формирование системы условий и требований, необходимых для реализации экономического поведения «активного» потребителя в энергосистеме, разработка модели принятия решений «активным» потребителем и представляют собой актуальную научную проблему, имеющую существенное значение для развития электроэнергетики страны.

В дальнейшей работе планируется рассмотреть эффективность работы активных потребителей в различных ценовых зонах и выявить наиболее перспективные.

### **Литература**

1. **Текслер А.Л.** Цифровизация энергетики. Пермь, 2019, 2. — 22 с.
2. **[Электронный ресурс]**. URL: [https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-energetika16x915.pdf?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f](https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-energetika16x915.pdf?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f)

*М.А. Далакян, асп.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОЦЕССНАЯ МОДЕЛЬ СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗА**

В образовательной сфере одной из главных задач является обеспечение качества высшего образования и, как следствие, его оценка, измерение и контроль. Такая тенденция наблюдается во всем мире, вне зависимости от степени развитости стран. Влияние систем оценки и контроля на организацию деятельности ВУЗов не подлежит сомнению. Но необходимо понимать, что эта связь достаточно сложная. Должное внимание, которое уделяется к измерению качества различных аспектов деятельности ВУЗов, выражается не только в стремлении обеспечить качественное образование для всех желающих его получить, но и в рекомендательных целях, для стейкхолдеров, которые, в свою очередь, заинтересованы в экономической эффективности и прозрачности представленной информации.

Любая организация является успешной при условии, если она постоянно совершенствует свою деятельность и достигает поставленных целей. Для образовательного учреждения постоянным совершенствованием деятельности является реализация сбалансированного во времени процесса с возможностью эффективно им управлять на различных стадиях, а также стремление минимизировать свои издержки. Таким образом, тема научного исследования является актуальной.

Целью научного исследования является разработка процессной модели создания стоимости образовательных программ ВУЗа с учетом транзакционных издержек.

Все бизнес-процессы ВУЗа тесно взаимосвязаны. Безусловно, образовательный процесс — это ключевой процесс деятельности учреждения высшего образования, но нельзя оценивать его в отрыве от остальных процессов вуза (процессы управления, основные и вспомогательные процессы). Таким образом, при построении процессной модели стоимости образовательной программы следует принимать во внимание все аспекты многогранной деятельности образовательного учреждения.

*Д.А. Поздеев, студ., рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ СПРОСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ**

Управление спросом на электроэнергию (ЭЭ) — это изменение потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на изменение цен на электроэнергию во времени или в ответ на стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на ЭЭ на оптовом рынке или когда системная надежность под угрозой. Управление спросом может снижать цены на электроэнергию на оптовом рынке, что, в свою очередь, приводит к снижению цен на розничном рынке [1].

В пиковые часы управление спросом — это эффективный инструмент для рынка ЭЭ, поскольку позволяет снизить пиковую нагрузку в системе, не прибегая к включению низкоэффективных объектов генерации. Причем относительно небольшое снижение потребления может значительно снизить стоимость ЭЭ.

В РФ на настоящее время действует пилотный проект по ценозависимому снижению потребления (ЦЗСП). Этот проект предполагает, что участвующие в проекте потребители готовы снизить свою нагрузку при требовании оператора. Потребитель с ЦЗСП берет на себя обязательства по разгрузке не более 5 раз по 4 или 2 часа в течение месяца, при этом для него уменьшается объем покупки мощности на величину ЦЗСП. При этом он несет финансово-экономическую ответственность за неисполнение обязательств по разгрузке в размере 25% стоимости мощности.

Существуют и барьеры по развитию этого проекта — от технологических, когда розничные потребители не удовлетворяют минимальным количественным требованиям к мощности оборудования на оптовом рынке до информационных, когда они не знают о такой программе.

Исходя из вышеописанного, ЦЗСП является перспективным направлением в работе как энергосистемы, так и потребителя. В дальнейшей работе планируется исследовать эффективность программы по управлению спросом для различных типов возможных потребителей.

### **Литература**

1. **Дзюба А.П., Соловьева И.А.** Перспективы управления спросом на энергоресурсы в регионах России // Экономика региона. — 2021. — Т. 17. — №. 2. — с. 502–519.

*Т.Ю. Маленкина, студ.;*  
*рук. Ю.Г. Коломиец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

На современном этапе развития электроэнергия является неотъемлемой частью любого процесса производства, имеет межотраслевое значение. Именно поэтому большое значение уделяется набирающей скорость цифровой трансформации энергетической отрасли, которая приводит к необходимости внедрения компаниями новых технологий.

На текущий момент в литературе предложено уже довольно большое количество технологических решений, применяемых в рамках реализации цифровой трансформации энергетики. К числу таких решений относят промышленный «интернет вещей», концепцию Smart Grid, технологии искусственного интеллекта, большие данные и системы SCADA.

Каждое из названных решений дает положительные эффекты от их внедрения в электроэнергетическую отрасль. В частности, «интернет вещей» позволяет электросетевым компаниям сокращать недоотпуск энергии в сеть, а также снижать затраты на техническое обслуживание и ремонты. Технологическая платформа Smart Grid способна собирать и обрабатывать массив данных, поступающих от всех компонентов электроэнергетической системы и, анализируя эту информацию, оптимизировать использование электроэнергии, повышая надежность и эффективность электроэнергетической системы. Искусственный интеллект используются тысячи домохозяйств с установленными микрогенерирующими объектами ВИЭ и накопителями энергии. Практическое внедрение SCADA-системы способно привести к уменьшению недоотпуска электрической энергии в случае возникновения аварийных отключений, а также числа обесточенных потребителей.

Однако стоит отметить, что каждое из представленных технологических решений способно обеспечить точно повышение эффективности деятельности энергокомпаний. Для развития же всей энергетической отрасли в современном мире требуется активно внедрять комбинации данных решений, чтобы обеспечить преодоление существующих барьеров и максимизировать положительный эффект от их использования.

В дальнейшей работе планируется рассмотреть применение этих и других цифровых технологий для повышения достоверности результатов и уменьшения затрачиваемого времени в комплексе мероприятий предпрятий, занимающихся энергоаудитом, а также выработки рекомендаций их использования в целях повышения энергоэффективности различных групп потребителей.



*П. Бойченко, студ.; рук. Д.А. Смирнова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ПАО «ФОРТУМ»**

Финансовый анализ — это такой вид экономического анализа, который связан с изучением финансовых результатов, а также финансового состояния предприятия.

С помощью финансового анализа можно получить полную информацию о финансовом состоянии предприятия, проанализировать, насколько эффективно используются денежные средства, сделать правильный выбор источников финансирования, определить сильные и слабые стороны предприятия, выявить, какие меры должны быть приняты с целью усовершенствования финансового состояния, а также оценить риски вероятности банкротства.

Учитывая вышеизложенное, данная тема действительно актуальна и требует особого внимания, а также постоянного изучения с целью проведения точной оценки финансового состояния.

Объектом исследования в данной работе выделено энергетическое предприятие ПАО «Фортум».

Рассчитав основные показатели финансового анализа, было выявлено, что предприятие устойчиво и не зависит от заемных средств, также было выявлено то, что предприятие ПАО «Фортум» имеет нормальную независимость финансового состояния.

Однако, было обнаружено, что главная проблема данного предприятия — низкая платежеспособность.

В связи с этим были предложены следующие мероприятия: поскольку предприятие имеет большую кредиторскую задолженность, была предложена система скидок, с целью увеличения денежных средств, чтобы погасить часть кредиторской задолженности. Благодаря данной системе, денежные средства могут увеличиться на 3 900 000 руб., следовательно, коэффициенты платежеспособности улучшатся.

Также было предложено погашение части кредиторской задолженности, а именно 3 000 000 руб. за счет высвобожденных денежных средств благодаря рассмотренной системе скидок.

Было выявлено, что после погашения кредиторской задолженности улучшатся коэффициенты платежеспособности и, следовательно, увеличится платежеспособность предприятия ПАО «Фортум».

Также был предложен факторинг, использование которого положительно повлияет на величину дебиторской задолженности и денежных средств.

*И.А. Грищенко, студ.;*  
*рук. А.Ю. Юрьевна, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИСОЕДИНЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ ОТ 10 МВА С РОЗНИЧНОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ НА ОПТОВЫЙ**

Представленная работа посвящена вопросам изучения механизмов функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности (Далее — ОРЭМ) России в части получения права торговли на потовом рынке для предприятий с присоединенной мощностью от 10 МВА.

Целью данной работы является написание методических рекомендаций для создания и определения вектора бизнес-процессов организации в целях достижения оптимальных сроков получения права покупки электрической энергии на оптовом рынке и достижения экономического эффекта при переходе на ОРЭМ.

В процессе изучения функционирования ОРЭМ были определены варианты бизнес-процессов для предприятий с разным уставным капиталом в целях получения права торговли на ОРЭМ и выполнена разбивка на этапы для определения соответствующих трудозатрат, а также выделены наиболее важные факторы, влияющие на принятие решений на каждом этапе.

Согласно информационному portalу Федеральной службе государственной статистики в настоящее время в России имеется более 10 000 промышленных предприятий с присоединенной мощностью более 10 МВА и прирост присоединенных мощностей к единой энергетической системе за последние 5 лет составляет 4,26% [1].

В результате изучения выделен преобладающий фактор, а именно решение предприятия о реализации процедуры перехода самостоятельно или через независимую энергосбытовую организацию, имеющую статус субъекта оптового рынка. В зависимости от выбора наиболее оптимального экономического эффекта промышленное предприятие достигает в случае наиболее полного информационного взаимодействия в части подготовки экономической базы, передачи информации и распределения обязанностей между специалистами.

Хотелось бы отметить, что в настоящее время ОРЭМ имеет оптимальные условия функционирования в части документооборота и временных рамок процедуры.

### **Литература**

1. Интернет — портал «ФСГС» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>. Дата обращения: 21.11.2022.

*А.В. Пряхин, студ.; рук. И.С. Андрюшина., к.э.н., проф. (НИУ МЭИ)*

## **ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ**

В современных условиях, когда российская экономика, в частности, ее энергетические компании, развиваются в условиях беспрецедентных санкций, остро стоит вопрос относительно выбора дальнейших методов развития, а также выявления соответствующих ресурсов. Стоит отметить, что такого рода проблема является типичной для периода экономических кризисов. В этой связи актуализируется необходимость разработки методического аппарата оценки инвестиционной привлекательности предприятий электроэнергетического сектора РФ, который включает в себя 880 электростанций общей мощностью около 245 213 МВт и линии электропередач протяженностью свыше 490 тыс. км [1].

В зависимости от состояния экономики колеблются цены акций. Стоимость ценных бумаг отражает текущую ситуацию в целом, а также будущие ожидания участников процесса инвестирования. Следовательно, можно сделать вывод, что существует взаимосвязь между изменениями внешних факторов и цен на акции, которые, в свою очередь, влияют на инвестиционную привлекательность компании [2].

Для более точного анализа инвестиционной привлекательности необходим метод, который будет учитывать элементы фундаментального и технического анализа, с учетом текущей макроэкономической обстановки, которая оказывает все большее влияние на инвестиционную привлекательность электроэнергетических компаний.

Предлагаемый метод оценки инвестиционной привлекательности является более гибким к быстро меняющимся политическим и макроэкономическим условиям в отличие от достаточно популярной модели дисконтированных денежных потоков (DCF), использование которой в данном случае затруднительно, и включает в себя специфические отраслевые мультипликаторы, однако, метод применим лишь к ПАО.

Данный метод может быть использован органами государственной и муниципальной власти при разработке и реализации инвестиционной политики, а также потенциальными инвесторами и другими заинтересованными сторонами.

### **Литература**

1. СО ЕЭС [Электронный ресурс]: [официальный сайт] — <https://www.so-ups.ru/>
2. **Морозова Т.В., Сафонова Э.Г.** Профессиональное суждение на основе качественных характеристик концепций международных стандартов финансовой отчетности. — Экономика и управление: проблемы, решения. — 2017. — № 7. — с. 77–82.

*М.И. Мухина, студ.; рук. А.Ю. Амелина, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЗО ПАО «ФСК ЕЭС»**

Экономический анализ представляет собой объективный необходимый элемент управления компанией и является одним из этапов экономического исследования и функции управленческой деятельности [1].

В работе анализ включал определение показателей производственной деятельности, движения трудовых ресурсов, платёжеспособности, финансовой устойчивости, рентабельности и деловой активности.

Объектом исследования выступает ДЗО ПАО «ФСК ЕЭС» ООО «АйТи Энерджи Сервис». Деятельность компании заключается в оказании ИТ-услуг, поставке программного обеспечения и ИТ-оборудования.

Анализ рассчитанных показателей показал, что менеджменту компании необходимо продолжить интеграцию структуры компании в структуру управляющей компании. Также необходимо провести мероприятия по техническому аудиту компании и управляющей компании на предмет определения схожих функций структурных производственных подразделений с целью оптимизации штата руководящего состава.

Далее была представлена финансовая модель расчета экономического эффекта от мероприятий по улучшению экономического состояния компании по трем сценариям.

Следует отметить, что для достижения финансово-экономических показателей оптимистического сценария необходимо следующее:

1. С целью сокращения расходов на административно-управленческий персонал и на руководящий состав провести оптимизацию численности с учетом интеграции структуры компании в структуру управляющей организации с последующим их слиянием.
2. Определить наличие производственных мощностей для выполнения производственной программы с учетом увеличения выручки, в том числе и со сторонними контрагентами.
3. Проработать концепцию увеличения стоимости услуг в соответствии анализом рынка.
4. В целях недопущения сокращения выручки от ПАО «ФСК ЕЭС» разработать стратегию развития компании, в соответствии с которой разработать мероприятия для определения компании единым центром компетенций для материнской компании в области оказания ИТ-услуг, поставки программного обеспечения и ИТ-оборудования.

### **Литература**

1. **Электронный ресурс:** о компании ООО «АйТи Энерджи Сервис» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://it-energy.ru/>

*Д.А. Тумаева, студ.; рук. А.Ю. Амелина, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПАО «ЭНЕЛ РОССИЯ»**

Финансовый анализ — это метод оценки и прогнозирования финансового состояния организации на основе ее финансовой отчетности. Этот тип анализа может выполняться как руководящим персоналом данной организации, так и любым внешним аналитиком,

Содержание и основная цель финансового анализа — это обнаружение возможности для улучшения с помощью разумной финансовой политики.

В работе анализ включал определение платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности, рентабельности, банкротства предприятия.

Объектом исследования выступает ПАО «Энел Россия» — «один из ведущих российских оптовых производителей электрической и тепловой энергии» [1].

Анализируя полученные показатели, стоит обратить внимание, что ПАО «Энел Россия» следует предпринять следующие меры (таблица 1), направленные на улучшение таких показателей, как текущая ликвидность, а также увеличение собственных оборотных средств и уменьшение заемного капитала. Для этого нужно:

- Увеличить долю собственного капитала на 30% за счет дополнительной эмиссии акций, тем самым увеличится строка финансовые вложения.
- Уменьшить дебиторскую задолженность. Для этого можно переключиться с кредита на факторинг (перенаправив денежные средства на погашение кредиторской и дебиторской задолженности).

**Таблица 1.** Основные экономические показатели после изменений

Показатель	Значение до изменений	Значение после изменений
Коэффициент текущей ликвидности	1,37	2,05
Коэффициент автономии	0,718	0,766

При этом после разработки мероприятий компания становится более устойчива по показателям. При условии выполнения данных рекомендаций компания будет иметь более высокий уровень финансовой устойчивости.

### **Литература**

1. **Электронный ресурс:** о компании ПАО «Энел Россия» [Электронный ресурс]-режим доступа: <https://www.eprussia.ru/com/company/115.htm>

**Секция 31**  
**МЕНЕДЖМЕНТ**  
**Management**

---

*Председатель секции: к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна*

*Секретарь секции: Вольная Сима Агилевна*

*И.А. Кодик, студ.;*  
*рук. В.А. Епифанов, д.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ РИСКАМИ В КОМПАНИИ**

В результате быстрого изменения условий современного хозяйствования, актуальным становится вопрос управления и снижения возникающего транспортного риска. Риск — это непредвиденность, выделяют: транспортные, коммерческие, экологические, низкой квалификации, технические, также бывают риски: чрезвычайных ситуаций, нарушения техники безопасности, планирования, хищения.

В качестве методов по снижению рисков выделяют: диверсификации; делегирования; тарификации; страхования; устранения [1].

Компания АО «ФМ ЛОЖИСТИК ВОСТОК» является одной из лидирующих логистических операторов, предоставляющая услуги: складирование, таможенное оформление, транспортировка, обработка груза, копакинг, упаковка товаров, хранение.

Идентификация транспортно-логистических рисков позволила выявить наиболее острые проблемы: недосыгаемость водителей; несоблюдение графика; несвоевременное информирование клиента; убытие без сверки паллет и документов с загрузкой; несогласованное убытие; срыв поставки. К весьма вероятным относятся 1, 3, 4 риски с оценками 6 и 9.

Среднее ежемесячное количество поездок — 6993, где в среднем по 5–10 случаев в неделю возникновения риска. Предложено мероприятие по разработке, внедрению приложения «FM Driver», которое позволило уменьшить вероятность и последствия рисков.

Приложение сокращает телефонные звонки, повышая сосредоточенность водителя на работе, который самостоятельно фиксирует время прибытия/убытия, что позволяет диспетчеру уделять больше времени решению проблем, увидеть фактическое месторасположение ТС и, при необходимости, вовремя информировать клиента о изменении. Тем самым удастся избежать зоны с наиболее вероятными неопределенностями и катастрофическими последствиями. В тоже время годовой экономический эффект составит 4 344 тыс. рублей, снизив убытки на 20%, где 34% расходы на запуск приложения, окупаемые в первый год работы.

### **Литература**

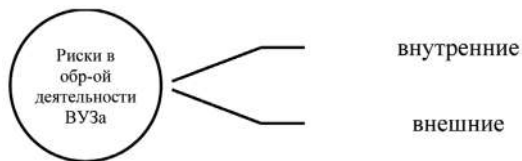
1. **Сысоева Е.А.** Управление логистическими рисками при доставке груза с использованием информационных технологий // *Логистика: современные тенденции развития.* — 2021. — С. 91–97.

*В.К. Драницына, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Образовательная деятельность высших учебных заведений, как и любая другая, подвержена рискам. В связи с многообразием классификаций рисков в общем и в контексте образовательной деятельности высшего образования, существует необходимость исследования рисков, а также их систематизация, а именно классификация рисков в части образовательного процесса. По данным Минобрнауки России численность студентов и численность принятых человек в образовательные организации высшего образования сокращается в последние годы (численность студентов: 2019 — 4161672, 2020 — 4068327, 2021 — 4049333; численность поступивших: 2019 — 1147932, 2020 — 1129381, 2021 — 1093345) [2].

Основные виды рисков в сфере образования можно разделить на две группы: системные и уникальные. Системные риски — это угрозы, величину которых нельзя уменьшить, так как их существование определено системой. Несистемные риски — это угрозы, величина которых, а вместе с тем и их воздействие на итоги деятельности организации можно уменьшить, они могут быть снижены до минимума [1].



**Рис. 1.** Риски в образовательной деятельности высшего учебного заведения

Ранее были рассмотрены риски образовательного учреждения в целом, далее рассмотрим риски в контексте образовательной деятельности. Автором сформулированы внутренние и внешние риски образовательной деятельности (рис. 1).

Стоит отметить, что наибольшее внимание следует уделять рискам, которые связаны с качеством образования. Именно этот вид риска имеет прямое влияние на показатели деятельности университета. Всем университетам следует разрабатывать новые мероприятия, направленные на предотвращение и снижение последствий от влияния данного вида риска.

### Литература

1. **Меняйло, Г. В.** Классификация рисков, возникающих в деятельности образовательных организаций высшего образования / Г.В. Меняйло // Современная экономика: проблемы и решения. 2016. № 7 (79). С. 28–36.
2. **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации:** — официальный сайт. — URL: <https://minobrnauki.gov.ru/opendata/> (дата обращения: 13.09.2022).



*Е.С. Харовская, студ.; рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРІ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ДИЗАЙН ЦЕНТРОВ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Повышение эффективности работы руководящего состава особо трудная и всегда актуальная задача, так как руководящий состав сложнее заинтересовать и мотивировать, чем рядовых работников.

Дизайн центр разработки электроники — это организация, разрабатывающая электронную (радиоэлектронную) продукцию, и оказывающая сопутствующие услуги, реализующая права на результаты интеллектуальной деятельности. Дизайн центры появились не так давно и системы стимулирования работы их руководителей еще недостаточно изучены и разработаны.

Определение понятия КРІ: «КРІ (Key Performance Indicators) — это ключевые показатели эффективности, числовые, выраженные в абсолютных или относительных (процентных) значениях показатели для измерения результативности (степень достижения намеченных целей) и эффективности (отражает соотношение расходов с результатами) предпринятых действий.

В работе рассмотрены различные системы повышения эффективности руководителей высшего и среднего звена, осуществляющие деятельность в дизайн центрах по разработке электроники. Предложен ряд способов повышения заинтересованности руководителей различных отделов. Разработаны показатели КРІ для ключевых должностей в дизайн центрах, вследствие введения которых ожидается повышение/прирост количества заключенных договоров на 8% и увеличение выручки компании на 14% при возрастании расходов на оплату труда всего лишь на 7–10% за счет увеличения удельной стоимости договора.

### **Литература**

1. **Вишнякова М.В.** КРІ. Внедрение и применение / М.В. Вишнякова — «Питер», 2019 — (Практика лучших бизнес-тренеров России).
2. **Нивен П.** Цели и ключевые результаты. Полное руководство по внедрению OKR / П. Нивен — «Манн, Иванов и Фербер (МИФ)», 2021 — (МИФ Бизнес).

Н.Е. Прошкин, студ.; рук. М.В. Патуроев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ВЫПУСКНИКА ВУЗА

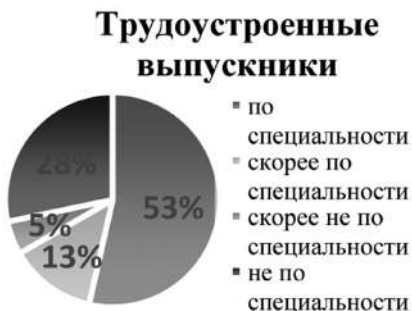


Рис. 1. Статистика трудоустройства по данным Росстата

В настоящее время в реальном секторе экономики постоянно происходят изменения, вследствие которых меняются и требования к навыкам кандидатов на бирже труда. В результате чего специалист, получивший диплом сегодня может быть уже не востребован среди работодателей (См. Рис. 1). В связи с этим прослеживается проблема с актуализацией формированием компетентностной модели выпускника [2].

В ходе анализа существующих алгоритмов формирования компетентностной модели выпускника был сделан вывод об устаревании используемых навыков. Так как вузы формируют компетентный стандарт, формирование, выпуск и утверждение которого занимает значительный период времени. В следствие этого вероятность трудоустройства выпускников по специальности составляет 68–70% [1, 2].

В рамках совершенствования процесса формирования компетентностной модели выпускника вузам следует отслеживать рынок труда (необходимые навыки и умения, требуемые организациями) для актуализации задействованных компетенций при обучении, чтобы сформированные навыки были наиболее востребованными. Для реализации данного процесса необходимо разработать алгоритм формирования актуальной компетентностной модели выпускника с учетом потребностей кадрового рынка.

Внедрение данного мероприятия позволит увеличить привлекательность выпускников за счет наиболее подходящей компетентностной модели, а также является экономически эффективным, ввиду роста спроса на образовательные услуги вуза. Ожидаемый результат от внедрения предложенного мероприятия — прирост среди поступающих до 12%, прирост спроса на выпускников до 10%.

### Литература

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 09.03.2022 г. № 109н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по управлению персоналом». — 2022. — 59 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. — режим доступа: <https://rosstat.gov.ru>

*Н.С. Комиссарова, студ.;*  
*рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

Современное состояние экономики, высокие темпы роста производственного и индивидуального потребления стимулируют развитие электросетевого комплекса России. Трансформация отрасли и процесс перехода к использованию нового оборудования осложняется негативными тенденциями, которые носят глобальный характер. Актуальность выбранной темы состоит в поиске наиболее эффективного пути устойчивого развития электроэнергетики, который учитывает факторы, оказывающие на него тормозящие воздействие.

Энергетическая стратегия РФ одной из задач имеет реализацию модернизации энергосистемы и достижение технологической независимости отрасли, что не возможно без решения проблем управления объектами электросетевого комплекса:

- сокращения издержек при передаче электроэнергии;
- уменьшения темпов роста степени износа основных средств и снижение эксплуатационных затрат;
- географической и технологической оптимизации функционирования объектов электроэнергетики;
- усиление надежности и безопасности функционирования электросетевой системы;
- повышение экологичности работы предприятий отрасли;
- своевременное и бесперебойное обеспечение электроэнергией населения и производства [1].

Проведение комплексной модернизации в отрасли и ее переход на новый уровень развития требует большого количества инвестиций и времени на реализацию поставленных задач. Поэтому важно найти решение, сформировать определенный план действий, который позволит оптимизировать работу электросетевого комплекса России на этот период.

На основании сделанных выводов, можно предложить совершенствование механизма проведения электротехнического ремонта, так как продление срока службы и надежности функционирования оборудования, снижение числа аварий будет способствовать решению проблем, возникающих на этапе трансформации электроэнергетики.

### **Литература**

1. **Энергетическая стратегия России до 2035 г.** Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р.

*З.Е. Герасимова, студ.;  
рук. М.А. Знаменская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ДАГЕСТАНЭНЕРГО»)**

Актуальность проблемы объясняется тем, что управление предприятием при кризисе — важная характеристика экономической деятельности предприятия. Представляет собой наиболее комплексную управляющую систему, в которой интегрируются принципы финансового менеджмента. В период с 2021–2022 г. СМИ выявлено 9,5% предприятий РФ находящиеся в кризисе.

Кризис предприятия — это период нестабильности, серьезные перемены на предприятии. Потеря устойчивости и управляемости, разрешением которых может быть преобразование системы или ее гибель [1]. В случае несостоятельности предприятия и переживания им кризиса обычно основное внимание уделяется финансовым и правовым механизмам, используемым в рамках антикризисного управления.

Особенности процессов и технологий антикризисного управления можно выразить в следующем: мобильность и динамичность в использовании ресурсов.

Если смотреть на ситуацию с точки зрения персонала, то персонал проходит через пять стадий принятия: отрицание, торг, гнев, депрессия, принятие. Стратегия с точки зрения персонала: работник пытается дать понять работодателю, что он ценный сотрудник; Сохранение за собой рабочего места — работа по совместительству. Был произведен анализ по 5-тифакторной модели Альтмана для ООО «Дагестанэнерго» (табл.1)

**Таблица 1.** Определение вероятности банкротства.

	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Вероятность банкротства	-2,69	-2,3661	-0,27

На основе всего этого были разработаны следующие рекомендации:

**Таблица 2.** Внедрение мероприятий по улучшению экономической эффективности

<b>П/П</b>	<b>Мероприятие</b>	<b>Цель</b>	<b>Предполагаемый эффект</b>
1	Пересмотр штата	Уменьшения затрат на персонал	13 млн. руб.
2	Экономия на АХО	Уменьшение затрат на канцелярию	1,8 млн. руб.
3	Прием сотрудников на удаленную работу из ниже оплачиваемых регионов	Экономия рабочих мест в офисе, уменьшение фонда оплаты труда персонала	7,5 млн.руб.

При оптимизации внедрённых рекомендаций, предполагаемый эффект составит: 22,3 млн. руб. (табл. 2). Для ООО «Дагестанэнерго» предложенная оптимизация мероприятий поможет в дальнейшем избежать кризиса.

### Литература

1. **Горлова В.В.** Управление потенциалом предприятия в условиях кризиса / В.В. Горлов, Е.Ю. Кузьмина, В.И. Сурат, И.В. Соклакова. — Москва: Дашков и К, 2021. — 194 с.

*Я.О. Антоненко, студ.,  
рук. М.А. Знаменская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «МАЛОЕ И СРЕДНЕЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ПОДДЕРЖКА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ»: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ**

Национальные проекты, как новый инструмент социально-экономического развития, являются достаточно актуальной темой в современной России. Среди 14 действующих проектов нельзя не уделить внимание перспективному и развивающемуся национальному проекту «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы». Уже сейчас данный проект имеет высокие показатели по числу МСП (5.83 млн.), обороту МСП от общего в РФ (39%/2020 млрд.), занятым от общего в РФ (28.1 млн. чел./38%) и др.

Действующие национальные проекты представляют собой нечто большее, нежели простые реформы или целевые программы, их реализация является мероприятием по разработке и подготовке уникального «продукта». Приоритетные национальные проекты представляют собой совокупность административных усилий и финансовых мер в рамках социально-экономической сферы, направленных на улучшение жизни населения.

Несмотря на высокие показатели и перспективы, у данных проектов есть ряд недостатков. Один из них, пожалуй, наиболее важный — отсутствие возможности у граждан в регионах предложить актуальные для них идеи по формированию и реализации проектов. Это связано с необходимостью ориентации государства не только на актуальность проектов, но и на имеющиеся возможности.

Таким образом, совершенно очевидна важность дальнейшего внедрения данного направления в регионы, его адаптации и структуризации в рамках основополагающей цели — стимулирования экономического развития, как внутри каждого субъекта, так и в стране в целом.

### **Литература**

1. **Антонова М.П.** Развитие малого и среднего предпринимательства в России в контексте реализации национального проекта / М.П. Антонова, В.А. Барина, В.В. Громов. — Москва: Издательский дом ДЕЛЮ, 2020. — 86 с.
2. **мсп.рф [Электронный ресурс]**. — Режим доступа: <https://xn--1lagf.xn--plai/analytics/>. — Дата доступа: 01.10.2022.

*А.А. Гарипов, асп.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Управление конкурентоспособностью предприятия — это целенаправленный процесс, основанный на принципах комплексности и системности, направленный на обеспечение постоянного обновления и развития конкурентных преимуществ предприятия, учитывает влияние внешних условий и необходимости оптимизации прибыли [1].

Под управлением конкурентоспособностью следует понимать постоянный, планомерный, целеустремленный процесс воздействия на всех иерархических уровнях на факторы и условия, обеспечивающие создание высококачественной и конкурентоспособной продукции. Управление конкурентоспособностью рассматривается как корректирующий процесс формирования производства и потребления продукции, с тем, чтобы вывести на рынок конкурентоспособный товар и снизить влияние субъективных факторов [2].

В условиях острого соперничества между участниками рыночных отношений анализ системы управления конкурентоспособностью является объективной потребностью каждого субъекта, стремящегося к сохранению или улучшению собственных конкурентных позиций и принятию обоснованных управленческих решений. Определение и последующий анализ набора ключевых показателей деятельности субъекта является одним из важнейших факторов для его дальнейшего развития и увеличения капитализации посредством постоянного анализа конкурентоспособности в рамках сферы рынка, в которой осуществляется деятельность субъекта. Специфика данных процессов придает еще большую актуальность исследованию конкурентоспособности с позиции теории управления, обеспечивающей основу для создания методики адаптации предприятия к условиям рыночной конъюнктуры. В рамках работы рассматривается явление конкурентоспособности как систематизированная совокупность группы составляющих, имеющих прямое влияние на предприятие и требующих оценки.

### **Литература**

1. **Никитина Е.А.** Управление конкурентоспособностью предприятия // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. — 2007. — № 8. — С. 226–230.
2. **Балабанова Л.В.** Управление конкурентоспособностью предприятий на основе маркетинга: Монография / Л.В. Балабанова, А.В. Кривенко. — Донецк: ДонГУЭТ, 2004. — 146 с.

*Р.Г. Рогов, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ В СФЕРЕ ЖКХ**

В настоящее время в России доля предприятий ЖКХ, которые внедряют цифровые технологии в бизнес-процессы, чрезвычайно мала в масштабах отрасли [1]. Процесс внедрения инноваций в сферу ЖКХ происходит медленно. В нашей стране отрасль ЖКХ потребляет огромный объем энергии и ресурсов. Вместе с тем, использование энергоресурсов в отрасли происходит нерационально, что влечет за собой рост недовольства населения: морально и физически изношенные приборы учета и оборудование в сфере ЖКХ вынуждают жителей оплачивать большие коммунальные платежи. Это особенно заметно в крупных городах России.

Внедрение в России «умных счетчиков» сопровождается внушительными финансовыми затратами, которые также вынуждена покрывать жильцы домов.

Решением проблемы недостаточного внедрения цифровых технологий и инноваций в сфере ЖКХ может послужить опыт экономии ресурсов, накопленный зарубежными странами. Например, использование умных счетчиков и датчиков теплоэнергии. Данное оборудование реагирует на смену температуры и погодных условий за окном и настраивает подходящий температурный режим батарей в квартире. Установка подобного инновационного оборудования, безусловно, потребует капитальных вложений на первом этапе, но в долгосрочной перспективе позволит снизить потребление энергоресурсов и объем коммунальных платежей. Для крупных городов России актуальным может стать внедрение Центров по тестированию инноваций в сфере ЖКХ. Подобные центры смогут проводить тестирование существующих инноваций, пригодных для внедрения на территории России с учетом погодных условий.

Для реализации подобного проекта можно использовать механизм государственно-частного партнерства [2].

### **Литература**

1. **Афанасьев Н.Е.** Инновации в ЖКХ как необходимое условие устойчивого развития крупного муниципального образования (зарубежный опыт) / Н.Е. Афанасьев // Транспортное дело России. — 2020. — № 3. — С. 85–86.
2. **Щербакова Д.В., Игнашин О.Э.** Инновации в ЖКХ как путь повышения реальных доходов населения России // Управленческое консультирование. — 2021. — №5(149). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-v-zhkh-kak-put-povysheniya-realnyh-dohodov-naseleniya-rossii> (дата обращения: 02.11.2022).



*Р.В. Шабаета, студ.;*  
*рук. Е.А. Сотниченко, к.э.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

В современном мире одним из главных факторов развития любой отрасли является персонал. Фармацевтическая отрасль испытывает дефицит квалифицированных кадров, поэтому в системе ограниченности ресурсов очень важно качественно заниматься бюджетированием управления персоналом. Бюджетирование управления персоналом трактуется как инвестиция в человеческий капитал фармацевтической компании.

Бюджетирование — часть менеджмента, которая направлена на осуществление функций планирования, организации, контроля и учета для свершения стратегических целей компании в основу которых вводится сопоставление расходов и результатов, включаемых в бюджет компании. Расходы на персонал содержат заработную плату сотрудников, материальное поощрение, социальный пакет и поддержание благоприятных условий труда [1].

Стратегической целью фармацевтической компаний является получение прибыли. Самый удобный способ получения прибыли — это сокращение расходов на персонал, но эта необоснованная экономность приводит к нехватке квалифицированных специалистов. В период нестабильности мировой экономики, под влиянием финансовых сложностей, фармацевтические компании стали сокращать расходы на персонал. Но именно первоклассный персонал является залогом успеха компании. И если в благоприятный период организация может себе позволить расширить штат в расчете на будущий рост, то в кризис его оптимизация становится необходимостью [2].

Бюджетирование управления персоналом — это комплексная задача, поэтому необходимо найти приемлемый уровень сокращения, чтобы сохранить качество управления и производства на прежнем уровне.

### **Литература**

1. **Тютин Д.В., Лесина Т.В.** Развитие методик бюджетирования в системе здравоохранения // Вестник Евразийской науки, 2019, № 3, <https://esj.today/PDF/42ECVN319.pdf> (доступ свободный).
2. **Селина О.А.** «Бюджетирование расходов на персонал в рамках контроллинга персонала»/ <https://cyberleninka.ru/article/n/byudzhetrovanie-rashodov-na-personal-v-ramkah-konrollinga-personala?ysclid=la8avnfwg7616871071> (доступ свободный).

*А.С. Игнатьева, студ.;  
рук. Е.А. Сотниченко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЭКСПОРТА ПРОДУКЦИИ ТЭК В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ**

Международные экономические отношения всегда были одной из наиболее динамично развивающихся сфер экономической жизни. На данный момент выход на внешние рынки усложняется из-за санкционных ограничений. Не учитываются условия экспорта в такой ситуации.

ТЭК — это основа экспорта нашей страны, потому что продукция нефтяной, угольной, газовой промышленности экспортируется в страны Восточной Европы и Западной Европы [2].

Кардинальное изменение внешнеэкономической ситуации привело к тому, что необходимо оперативное обновлению модели экспорта ТЭК в России. В связи с этим должны быть уточнены или даже ужесточены требования и предложены дополнительные инструменты условий экспорта.

Особенности экспорта продукции ТЭК исходят из введенных против России санкций. Самым сильным западным ограничением стоит считать решение Германии остановить сертификацию «Северного потока — 2». Кроме того, были введены персональные санкции против менеджмента российской компании, а также начата процедура частичной национализации некоторого имущества «Газпрома» в Европе и полного запрета на сотрудничество с североамериканскими предприятиями. Запрет на страховку поставок нефти и нефтепродуктов морским путем в третьи страны. Выдвижение условий снижения цен на поставку продукции ТЭК для европейских стран [1].

Новая модель осуществления проекта экспорта продукции ТЭК в нынешних условиях будет учитывать все ограничения, содержать в себе перечень новых путей (логистики, масштаба, объема) для реализации экспорта ТЭК продукции.

Разработанная модель реализации проекта экспорта в России позволит нивелировать спад экономики и вернуть взаимовыгодные отношения с некоторыми странами Евросоюза.

### **Литература**

1. **Аналитический центр при правительстве Российской Федерации.** «ТЭК России в условиях санкционных ограничений» URL: <https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo106.pdf> (дата обращения: 09.11.2022).
2. **Иванов М.Л.** Внешнеэкономическая деятельность. Учебное пособие. / М.Л. Иванов, М.Д. Иванова. — М.: РИОР, Инфра-М, 2019. — 128 с.

*В.В. Колобова, к.э.н., доц.,  
И.В. Булах, к.э.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОМПАНИИ**

Среди множества факторов, влияющих на энергоэффективность промышленных предприятий [1], выделим основные:

1. Конъюнктура рынка энергоресурсов. Завышенный уровень цен и тарифов стимулирует снижение расхода топлива и энергии в компании.
2. Доступ к рынку ресурсов и новым технологиям, определяемый при формировании энергетической политики предприятия, обусловлен рыночной конъюнктурой, типом рыночных структур и политикой межгосударственных отношений.
3. Физический и моральный износ основных производственных фондов не позволяет обеспечить высокую интенсивность и эффективность производства, повышает уровень энергетических затрат и отрицательно влияет на эффективность живого труда на производстве, через энергоемкость технологических процессов.
4. Укрупнение единичных мощностей и реализация других способов концентрации производства. Специализация и кооперация действуют одновременно, обеспечивая, интегрированным компаниям более совершенный механизм перераспределения ресурсов и, как следствие, более низкую энергоемкость производства продукции.
5. Технологическое комбинирование производства, обеспечивающее высокий уровень непрерывности производственных процессов. Комбинированные производства способствуют повышению качества экологической среды, а экологическая составляющая, в свою очередь, превращается из затратной в прибыльную статью экономической деятельности интегрированной компании.
6. Инвестиционный потенциал. Внедрение комплексной системы энергоменеджмента требует значительных капиталовложений, что при дефиците инвестиционных ресурсов является существенным барьером при проведении мероприятий по повышению энергоэффективности промышленных предприятий. Преодоление этого барьера может быть достигнуто посредством интеграции предприятий с целью формирования единого инвестиционного потенциала для решения совместных задач по технологическому развитию и модернизации производства.

### **Литература**

1. **Кокшаров В.А.** Систематизация факторов энергоэффективности промышленного предприятия // Вестник Пермского ун-та. Серия «Экономика». — 2016. — № 1. — С. 147–156.

П.Е. Жохова, асп.;  
рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МАРКЕТИНГА ДЛЯ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ESG ТОВАРОВ

В настоящее время в России, как и во всем мире, отмечается повышение интереса потребителей к ESG товарам [1]. Российским производителям данной категории товаров необходимо использовать эту тенденцию для своего развития. Производителям необходимо ясно понимать, какие маркетинговые инструменты могут им в этом помочь максимально эффективным образом [2].

Рекомендуется применять интегрированные маркетинговые коммуникации и весь классический комплекс маркетинга в сочетании с инструментами нейромаркетинга (Рис. 1). Также важно учитывать условия постоянно меняющейся внешней среды и использовать это с максимальной выгодой для себя, по возможности, предупреждая потенциальные потери.

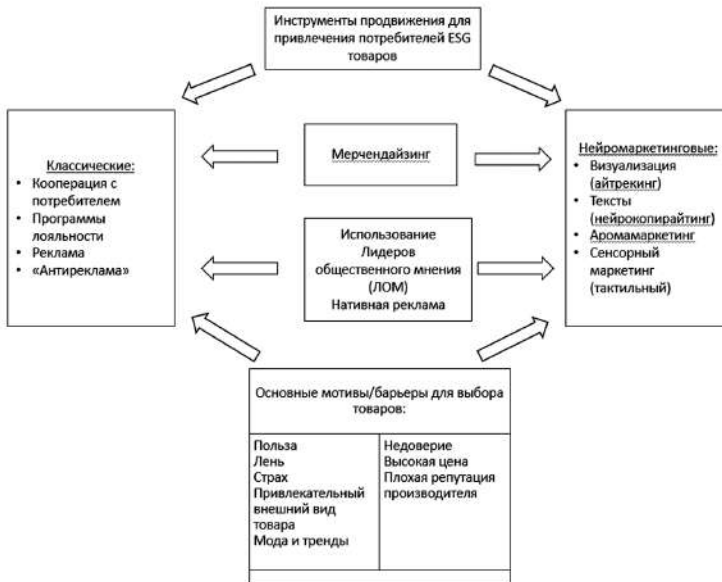


Рис. 1. Предложение по использованию инструментов продвижения для привлечения потребителей ESG товаров (разработано автором)

### Литература

1. **Глобальное исследование** потребительского поведения за 2020 год: Россия. [Электронный ресурс] / PwC.ru / Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/publications/consumer-insights-survey-2020.html>
2. **Колесникова О.В., Жохова П.Е.**, Рынок ESG товаров в России: трансформация, перспективы развития. //«ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ». № 9. 2022. С. 208–214.

*Е.С.Казаков, асп.; рук. А.В. Варганова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАВОДОВ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

Мировая повестка и текущая экономическая ситуация в Российской Федерации располагают к развитию собственной промышленности, ухода от товаров и услуг наших зарубежных «партнеров». Именно сейчас ставится точка роста промышленного комплекса страны.

Важным показателем благосостояния гражданина каждой страны наличие качественного и доступного транспортного средства, к сожалению, за последние несколько десятков лет в Российской Федерации собственное производство и разработка новых автомобилей сведена к минимуму. При этом спрос на легковые автомобили в России только растет [1]. Крупные концерны принадлежат иностранным государствам, и естественно, им не выгодно создавать себе конкуренцию внутри страны с местными предприятиями. Большая часть комплектующих поставляется из-за границы. Концерны уже пережили пандемию COVID-19 [2]. Однако в условиях санкций, введенных с февраля 2022 года, предприятия автомобилестроения переживают новый кризис.

В настоящее время остро стоит вопрос импортозамещения, как отдельных комплектующих, так и в целом концепций создания новых автомобилей и концернов.

В данной работе раскрываются основные критерии оценки эффективности заводов по производству легковых автомобилей в условиях импортозамещения.

При разработке критериев автор учитывал:

- наличие жестких санкционных ограничений;
- географическое расположение концерна;
- наличие/отсутствие возможных партнеров;
- конкурентоспособность автозавода.

Полученные критерии позволяют разработать методику оценки эффективности работы автоконцернов.

### **Литература**

1. **Багратуни С.А.** Динамика рынка новых легковых автомобилей в России за 2013–2017 гг. // Журнал правовых и экономических исследований. — 2019. — № 1. — С. 96–102.
2. **Кухтина Е.К., Ерохина Е.В.** Деятельность предприятий автомобилестроения в условиях пандемии коронавируса // Научные дискуссии в эпоху глобализации и цифровизации. — 2021. — № 81. — С. 1–3.

*Е.Н. Кеменов, асп.; рук. А.В. Варганова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОСОБЕННОСТИ МАРКЕТИНГА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

В условиях современного бизнеса энергокомпании ощущают необходимость изменений, причем не только, следуя трендам рынка, но и с учетом долгосрочного прогнозирования.

Маркетинг является одним из главных инструментов для реализации подобных изменений. Стоит отметить, что маркетинг в энергетике на порядок сложнее, чем в любой другой отрасли. Работа ведется одновременно на рынках двух типов — регулируемом и нерегулируемом, здесь большая и очень разная аудитория, и товар, отпускаемый в кредит, и обременение в виде социальной ответственности. Важным также является учет технических возможностей электрических сетей: допустимая передача через элементы сетей, ограничения по допустимым потерям напряжения и т.д.

Из-за специфики маркетинга в электроэнергетике, в большинстве энергокомпаний системно он отсутствует, а в крупных, реализуется в рамках использования отдельных элементов, чаще всего маркетинговых коммуникаций.

Из особенностей маркетинга в электроэнергетике можно выделить:

- операционный маркетинг: непосредственный контакт энергоснабжающих организаций с потребителем;
- стратегический маркетинг: изучение внутренних и внешних возможностей АО-энерго, то есть прогноз энергопотребления с точки зрения оценки ресурсов региона.

Чтобы разработать эффективную систему маркетинговых коммуникаций в электроэнергетике, влияющих на наращивание денежного потока, причем в долгосрочной перспективе в части стабилизации платежей в «тарифе» (исключая работу с дебиторской задолженностью), в части создания новых источников доходов в «нетарифе», необходимо усовершенствовать процесс управления маркетинговыми коммуникациями и разработать эффективную модель, которая будет учитывать:

- потребности каждого субъекта, участвующего в этих коммуникациях;
- технологические особенности процесса производства, передачи и потребления электроэнергии;
- внешнеэкономическую и политическую повестку.

### **Литература**

1. **Дьяков А.Ф., Жуков В.В., Максимов Б.К.** Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике. М.: ИД МЭИ, 2015.

*И.А. Клитной, асп.; рук. А.В. Варганова, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ДОЛИ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СЕБЕСТОИМОСТИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Изменение условий развития глобальной экономики после февраля 2022 года имеет историческое значение. Уход с рынка иностранных инвесторов и компаний значительно влияет на российскую экономику и промышленность. Таким образом, импортозамещение и повышение конкурентоспособности как тактические задачи своевременны, рациональны и направлены на оперативное воссоздание бизнес-моделей и сценариев ушедших компаний для сохранения технологических цепочек, кооперационных связей, системы разделения труда и сохранения рынка товаров и услуг РФ [1].

Как уже было отмечено, повышение конкурентоспособности товаров и услуг промышленных предприятий также одна из важных задач. Одним из способов достижения данной цели является сокращение доли энергозатрат в себестоимости готовой продукции за счет рационального использования энергетических ресурсов. В условиях промышленных площадок, как правило, функционируют местные электростанции, а также имеются внешние источники электрической энергии, покупающие электроэнергию с оптового рынка. При рационализации энергопотребления в таких энергоузлах применяется большое число подходов [2].

В данной работе предлагается оценка необходимости, допустимости, выбора типа, мощности и места установки собственных источников электрической энергии в условиях промышленных энергоузлов.

В работе разработаны критерии и подходы, позволяющие определять на основе технико-экономического сопоставления вариантов наилучший вариант развития генерирующей базы крупных промышленных систем электроснабжения. Разработанная методика основана на комплексной оценке критериев эффективности работы промышленного предприятия, учитывающая энергетическую составляющую в себестоимости готовой продукции.

### **Литература**

1. **Лантер Н.Н.** ОТ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ К ИННОВАЦИОННОМУ РАЗВИТИЮ ЭКОНОМИКИ РФ // Россия: тенденции и перспективы развития. — 2022. — № 1–2. — С. 82–89.
2. **Малафеев, А.В.** Анализ оптимальных режимов работы турбогенераторов собственных электростанций ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / А.В. Малафеев, Л.А. Копцев, А.В. Хламова // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. — 2011. — № 4. — С. 111–114.

*А.В. Корниенко, асп.;*  
*рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА**

В 2022 году глобальная экономика, система международных отношений и технологическая сфера проходят через новые испытания.

После разрыва кооперационных цепочек одним из ключевых принципов развития государства становится достижение технологического суверенитета, создание целостной системы экономического развития, которая по критически важным составляющим не зависит от иностранных институтов”[1].

Намечен переход от технической политики импортозамещения догоняющего типа, к новому принципу технологического суверенитета.

Для соблюдения национальных интересов необходимо создавать собственные разработки, технологии, конкурентные продукты и услуги, которые способны стать новыми мировыми стандартами.

В научном обороте понятие суверенитета ранее в основном рассматривалось в работах по истории, юриспруденции, философии, геополитике, позже — в цифровой экономике [2]. В современных реалиях данное понятие входит в экономический оборот и техносферу.

Проанализировав различные подходы к раскрытию сущности технологического суверенитета, автор [1] определяет технологический суверенитет как “достигнутый уровень реальной независимости страны в областях науки, техники и технологий, чем обеспечивается беспрепятственная реализация национальных интересов в техносфере с учетом существующих и перспективных угроз”.

По нашему мнению, технологический суверенитет — это такой уровень импортозамещения в областях промышленного производства и экономики, технологий и науки, который обеспечивает их устойчивое функционирование и беспрепятственную реализацию национальных интересов с учетом геополитических рисков в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

### **Литература**

1. **Афанасьев А.А.** «Технологический суверенитет» как научная категория в системе современного знания // Экономика, предпринимательство и право. — 2022. — Том 12. — № 9. — С. 2377–2394.
2. **Ештокин С.В.** Сквозные технологии цифровой экономики как фактор формирования технологического суверенитета страны // Вопросы инновационной экономики. — 2022. — Том 12. — № 3. — С. 1301–1314.



*Р.А. Рогачев, асс.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВУЗА КАК СУБЪЕКТА ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

В XXI веке одним из центральных трендов в образовании является цифровизация образовательного процесса. Современному педагогу как непосредственному участнику цифровизации образования, как субъекту цифрового образовательного пространства следует понимать содержание основных категорий цифрового образовательного пространства [1].

Об этом свидетельствовали многочисленные проблемные ситуации, возникшие в нашей стране в связи с переходом на дистанционное обучение в марте 2020 года.

Таким образом, остро стоит вопрос о формировании у педагогов компетентности, позволяющей им эффективно осуществлять педагогический процесс в условиях цифровизации образования.

Специальным цифровым компетенциям университетских преподавателей в современных условиях необходимо уделять особое внимание, так как их наличие и уровень развития влияют на эффективность профессиональной деятельности, а выбор конкретных компьютерных программ, образовательных платформ и т.п. зависит от конкретного высшего учебного заведения [1].

Владение цифровыми технологиями можно подразделить на три уровня:

- начальный (преподаватель выполняет простые задачи, связанные с использованием компьютерной техники; например, может запустить программу, создать и вывести на печать документ и т.п.);
- базовый (преподаватель использует в работе соответствующие его профессиональным задачам информационные системы и т.д.);
- продвинутый (преподаватель с помощью автоматизированных систем может решать сложные профессиональные задачи, настраивать системы для оптимизации своей деятельности и т.д.).

Формирование компонентов цифровой компетентности, должно входить в обязательную подготовку / переподготовку / повышение квалификации преподавателей любого вуза как актуальная задача по успешному их вхождению в цифровое образовательное пространство.

### **Литература**

1. **Масалова Ю.А.** Цифровая трансформация в деятельности университетов: направления и перспективы. Изд-во Урал. ун-та, 2020. С. 200–210.

*И.О. Борзых, студ., М.А. Знаменская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И ИЗНОСОМ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДХОДА DATA-DRIVEN**

В наше время огромное количество организаций, а также целые отрасли всё чаще внедряют систему принятия решений на основе больших данных.

Data Driven — это подход к управлению, основанный на данных. Его главный постулат: решения нужно принимать, опираясь на анализ цифр, а не интуицию и личный опыт. Согласно исследованию компании PwC, проведённому среди 1135 руководителей различных компаний в 2016 году, внедрение подхода Data Driven привело к увеличению количества корректных управленческих решений более чем на 200%.

Рассматриваются различные ресурсы сбора данных (например, интернет, корпоративные сети или специальные устройства), процесс постановки задачи для анализа собранных данных, выбор алгоритмов анализа данных, а также инструментарий, позволяющий хранить и обрабатывать данные.

Один из ресурсов сбора данных — корпоративные сети. Данный ресурс сбора больших данных представляет собой сбор информации о состоянии оборудования как при помощи сотрудников, которые вносят соответствующие данные вручную, так и при помощи автоматических систем, которые сигнализируют о состоянии оборудования и обновляют базу данных автоматически.

Преимущество такого метода заключается в большом объеме собираемых данных, однако его ключевой недостаток — это большая вероятность возникновения ошибочных данных или дубликатов (особенно, если данные вводятся сотрудниками вручную).

Внедрение метода сбора данных при помощи корпоративных сетей способно значительно улучшить качество принимаемых решений, поэтому данное нововведение имеет высокое значение в совершенствовании системы управления обслуживанием и износом оборудования электроэнергетического комплекса. Данное нововведение — это внедрение системного подхода в обслуживании электроэнергетического оборудования. Если старый подход к обслуживанию оборудования предусматривал обслуживание по мере возникновения неисправностей, то подход Data-Driven позволит производить ремонтные работы ещё до появления серьезных технических неисправностей. Такой подход позволит сократить временные и материальные затраты на ремонт и обслуживание электроэнергетического оборудования, значительно сократит время простоя производства и объем упущенной прибыли.

### **Литература**

1. **PwC: Audit and Insurance:** [Электронный ресурс]. URL: [pwc.co.uk/data-analytics/](http://pwc.co.uk/data-analytics/) (Дата обращения: 21.11.2022).

*А.С. Володина, студ.; рук. С.А. Вольная, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «РОССЕТИ МОСКОВСКИЙ РЕГИОН»)**

На сегодняшний день одним из основных элементов успешного функционирования предприятия является грамотное создание системы управления персоналом и развитие его кадрового потенциала.

Поскольку каждый человек индивидуален, компании должны установить свою собственную кадровую политику, которая определяет основы, регулирующие все правила, касающиеся сотрудников.

Кадровая политика — это генеральное направление кадровой работы, включающее совокупность принципов, методов, форм организационного механизма по выработке целей и задач, направленных на сохранение, укрепление и развитие кадрового потенциала, создание высокопроизводительного, сплоченного коллектива, способного своевременно реагировать на меняющиеся требования рынка [1].

В процессе анализа кадровой политики ПАО «Россети Московский регион», было выявлено, что Компания имеет ряд слабых сторон: долгий процесс трудоустройства персонала; низкая адаптация вновь прибывших сотрудников к рабочему процессу; отсутствие у сотрудников чувства вовлеченности в деятельность Компании.

На основе выявленных проблем были предложены следующие мероприятия: сокращение временного регламента по отбору, набору и утверждению кандидатов; совершенствование системы наставничества; проведение конкурса по разработке инновационных идей.

В результате сокращения временного регламента по подбору, отбору и утверждению кандидатов, Компания сможет привлечь на 15% сотрудников больше, чем в рассчитываемом году, а также сократить затраты на 0,00024% от прочих расходов Компании. Затраты на реализацию мероприятий по совершенствованию системы наставничества составят 0,0003% (от чистой прибыли) позволит снизить текучесть кадров с 10,8% до 7,56%. Затраты на мероприятие по проведению конкурса составят 0,04% (от чистой прибыли), данное мероприятие позволит сотрудникам быть более вовлеченными в деятельности Компании, а также добиться личностного роста сотрудника.

Таким образом, предложенные мероприятия позволят снизить текучесть кадров в Компании, укрепить позиции на рынке, повысить вовлеченность как новых сотрудников, так и сотрудников, которые уже работают в ПАО «Россети Московский регион».

### **Литература**

1. **Одегов, Ю.Г.** Кадровая политика и кадровое планирование: учебник и практикум для вузов / Ю.Г. Одегов, В.В. Павлова, А.В. Петропавловская. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 575 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14217-4.

*А.И. Щербакова, студ.;*  
*рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА**

В настоящее время в ряде стран с развитой экономикой, доля малого бизнеса значима с позиции вклада в ВВП и численность занятых в экономике. Малый бизнес заинтересован в развитии рыночной инфраструктуры и институтов, следовательно, в скорейшем реформировании экономики.

Актуальность данного направления заключается в социальной задаче сохранения и приумножения рабочих мест.

Следует отметить, что предприятия малого бизнеса также развивают производство отечественной продукции.

Существует понятие «малый бизнес», которое подразумевает целенаправленную рисковую деятельность физического или юридического лица, основной целью которой является максимизация прибыли за счёт производства и продажи товаров, выполнения разного рода работ и оказания услуг [1].

На текущий момент, одной из основных проблем малого бизнеса является нарушение цепочек поставок. Активно развивается импортозамещение, государство поддерживает развитие отечественных товаров, предлагая гранты на реализацию проектов создания импортозамещающих производств.

По подсчетам на основе данных Росстата, за девять месяцев 2021 года малый бизнес реализовал товаров и услуг на сумму 21,4 трлн руб., однако его доля в обороте всех организаций достигла минимального значения за десять лет — 11,4%.

В региональном разрезе по обороту малого бизнеса предсказуемо лидирует Москва, на долю которой приходится 18,6% суммарной выручки по России. Далее следуют Санкт-Петербург (8%), Краснодарский край (6,4%), Московская область (5,9%) и Свердловская область (3,1%) [2].

### **Литература**

1. **Экономика предприятий:** Учебное пособие / Л.Н. Краснова, М.Ю. Гинзбург, Р.Р. Садыкова. — 1. — Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2016.
2. **Федеральная служба государственной статистики.** <https://rosstat.gov.ru/folder/10705>

*Д.К. Шецьков, студ.; рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

В условиях развития национальной экономики в рамках цифровизации экономики, особую актуальность приобретает разработка механизма управления инновационным развитием отечественных предприятий. Экономический кризис, связанный с эпидемией Covid-19, внес существенные коррективы в деятельность современных компаний, которые вынуждены изыскивать новые возможности для стабилизации и развития своей деятельности с применением инновационных форм и инструментов управления.

В данном случае возникает необходимость введения инструментов для поддержания инновационного развития, куда входят: элементы жизненного цикла инноваций, инновационный климат, методы оценки моделей инновационного развития, глобальный инновационный индекс.

Модель инновационного развития (процесса) — это систематизация элементов инновационной системы и механизмов, поддерживающих динамику развития экономики с заданными задачами, обеспечивающих результат инновационной деятельности [1].

ПАО «Газпром» — это известная крупнейшая мировая энергетическая корпорация. Она занимается геологоразведкой, добычей, транспортировкой, хранением, переработкой и продажей газа, газового конденсата и нефти, продажей газа в виде моторного топлива, а также производства и сбыт тепло- и электроэнергии.

Для улучшения экономической ситуации компании можно предложить следующие мероприятия:

1. Продажа водорода на российском рынке, обеспечивающая продукцией промышленную отрасль.
2. Модернизация добывающих установок в рамках снижения издержек продукции.

Так при проведении 2-ух мероприятий по продаже водорода и модернизация буровых установок, выручка выросла и в итоге составила 25 848 млн. руб. При этом срок окупаемости проекта мероприятий составит 1 год 5 месяцев 13 дней, где на 10-й месяц от начала проекта мероприятий будет приносить доход и за 2 года доход от внедрения мероприятий составит 12 950 646 629 руб., что доказывает положительный эффект организации мероприятий.

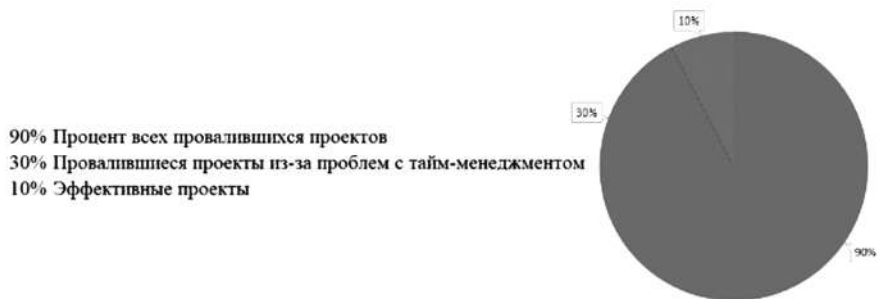
### **Литература**

1. **Паздникова, Н.П.** Применение моделей инновационного развития экономики региона / Н.П. Паздникова // ВПУ / ПГНИУ. — Пермь, 2018. — С. 6–12.

*Д.С. Ловчикова, студ.;*  
*рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТАЙМ-МЕНЕДЖМЕНТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ РФ**

В современных условиях тайм-менеджмент является неотъемлемой частью деятельности любого успешного проекта, в том числе в туристической индустрии. Главная задача любой туристической индустрии — это предоставления современного туристического комплекса, обеспечивающего удовлетворение потребностей граждан. Однако, согласно статистическому анализу, 90% туристических проектов терпят неудачу, из которых 30% проектов проваливаются из-за проблем со временем (рис. 1). Сразу же возникает вопрос использования и распределения времени в самом процессе деятельности проекта. Решением данной проблемы может стать грамотное применение методов тайм-менеджмента.



**Рис. 1.** Статистический анализ туристических проектов

Существует множество различных методов и техник тайм-менеджмента, которые можно применить при управлении проектами: метод «АВС», метод «Альпы», Принцип Парето, Матрица Эйзенхауэра, Система 4D, Пирамида Франклина [1].

К одним из самых результативных методов тайм-менеджмента при управлении проектами в туристической индустрии относятся: Матрица Эйзенхауэра, Метод SMART, Принцип Парето, Диаграмма Ганта.

Таким образом, управление временем является важной частью при управлении проектами в туристической индустрии, которое требует внимания и совершенствования. Внедрение новых методов тайм-менеджмента при управлении проектами в туристической сфере приведет к наиболее полному и эффективному использованию рабочего времени, к минимизации непродуктивного его использования, создаст условия повышения качества исполнительского труда.

### **Литература**

1. **Матвиевский А.А.** Значение технологий тайм-менеджмента в повышении эффективности деятельности организации / А.А. Матвиевский. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 33 (323). — С. 57–59.

*Д.О. Загайнов, студ.;  
рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

Существует необходимость в совершенствовании методов оценки и контроля экологических рисков, которые воздействуют на инвестиционные проекты. В рамках данного исследования упор будет сделан на повышение экономической эффективности проектов, путем снижения негативных последствий влияния экологических рисков. Поэтому выбранная тема представляется весьма актуальным направлением экономического исследования.

Экологический риск — это возможность возникновения негативных изменений экологических факторов, влияющих на окружающую среду, здоровье человека, социальную и экономическую стабильность региона, а также влекущих за собой экономические издержки на нейтрализацию возникших негативных последствий.

Существуют индивидуальные, технические, экологические, социальные, экономические, инновационные и технологические риски инвестиционных проектов. Данные риски без исключения имеют воздействие на экономическое состояние проекта [1].

На практике применяются следующие методы оценки экологических рисков: статистический; оценки целесообразности затрат; экспертных оценок; аналитический; метод использования аналогов; оценки финансовой устойчивости и платёжеспособности; анализ последствий накопления риска; комбинированный метод. Но у всех этих методов имеются недостатки, они несовершенны.

Улучшение контроля над экологическими рисками позволит заранее предотвращать их возникновение, а в случаях, когда это невозможно — снизить негативные последствия от их возникновения.

### **Литература**

1. **Маховикова Г.А.** «Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта с учетом Экологического фактора», 2010.

*В.С. Ахромин, студ.; рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ DIGITAL-БРЕНДИНГА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ**

Роль бренда является одним из важнейших факторов конкурентоспособности организации. Создание бренда требует последовательности и системности.

Digital-инструменты являются важнейшими путями коммуникации бренда с потребителями, часть из которых задействованным с помощью специальных каналов, посредством: интернета, телефонов, персональных компьютеров, планшетов, телевидения, радиовещания и тд.

Нормативное регулирование цифровой среды регламентировано Законом Российской Федерации N 149-ФЗ (ред. от 09.03.2021) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

Выявленная проблема в анализируемой организации заключается в правильном выборе digital-инструментов брендинга для повышения конкурентоспособности. Именно в ходе конкуренции становится ясно, насколько инновации компании, выработка общей корпоративной культуры или реализация выбранной стратегии способствуют ее эффективности.

Для совершенствования конкурентоспособности рассматриваемой организации, опираясь на выявленную проблему, было принято решение расширить digital-инструментарий организации путём внедрения следующих мероприятий по добавлению актуальных цифровых услуг:

1. Разработать, создать и внедрить систему мониторинга;
2. Разработать, создать и внедрить систему реагирования;
3. Добавить в каталог услуг организации Email-маркетинг.

Подводя итог маркетинговой эффективности предложенных мероприятий, сделан вывод о достижении следующих результатов: внедрение системы мониторинга позволит эффективно анализировать упоминания в цифровой среде; внедрение системы реагирования позволит более точно и локально реагировать на упоминания; добавление услуги Email-маркетинг увеличит портфель услуг, что в свою очередь повысит конкурентоспособность. Рентабельность продаж возросла на 15,6%, что говорит об экономической эффективности предложенных мероприятий.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** N 149-ФЗ (ред. от 09.03.2021) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. **Портер М.** Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. — М: Альпина Паблишер, 2020. — 14 с.



*Ю.Н. Сапожкова, студ., М.А. Знаменская, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОДБОРА ПЕРСОНАЛА В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ООО «ФИЛОСОФИЯ.ИТ»)**

Система подбора персонала организации является одним из факторов успешной работы предприятия. Хорошо налаженная система подбора персонала способствует повышению стабильности и эффективности развития организации, а также позволяет укрепить кадровую политику.

В условиях неопределенности и высоких рисков, но государственной поддержки ИТ — индустрия остается локомотивом роста отечественной экономики.

В 2020 году в ООО «Философия.ИТ»: списочная численность персонала — 1514 чел.; удельный вес выбывших сотрудников составил 5 %, а принятых — 3,9%; структура персонала выглядит следующим образом: рабочие — 23%, руководители — 22%, специалисты — 55%.

Самыми эффективными методами подбора персонала в ООО «Философия.ИТ» является использование Интернета и государственных центров занятости, а самым неэффективным — услуги кадровых агентств. В этом случае затраты на единицу труда составили 446 207 рублей.

На основании проведенного анализа было выявлено 2 существенных недостатка: отсутствие руководителя по подбору и команды рекрутеров, которые бы занимались подбором персонала; трата большого количества времени администрацией компании на просмотр резюме и подбор персонала на сайте HeadHunter.

Исходя из выявленных недостатков предложены следующие рекомендации: набрать команду из 2-х ИТ-рекрутеров и одного руководителя по подбору персонала; внедрить платформу по подбору персонала Amazing Hiring.

Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения разработанных мероприятий: снижение текучести кадров; повышение производительности труда работников; снижение затрат на выплату за сверхурочную работу. Поскольку показатель чистый дисконтированный доход положителен и равен 6 779 402,79 рублей, данный проект экономически целесообразен, что является основанием для его принятия и реализации.

### **Литература**

1. **Кибанов, А.Я.** К38 Управление персоналом: учебное пособие / А.Я. Кибанов. — 6-е изд., стер. — Москва: КНОРУС, 2018. — 202 с.

*Н.В. Леуш, студ.; рук. Е. Сотниченко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ (НА ПРИМЕРЕ АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ»)**

Использование интегрированных систем управления (ИСУ) направлено на повышение эффективности деятельности и дает организации ряд преимуществ. Процессный подход к управлению в рамках ИСУ связывает воедино стратегию развития организации с ожиданием заинтересованных сторон путем оказания прямого воздействия на результат работы организации: способствует достижению общего результата производства, реализации стратегических и тактических целей, достижению запланированных показателей деятельности [1].

В рамках первой главы выпускной квалификационной работы были изучены теоретические основы построения и развития ИСУ.

Во второй главе выпускной квалификационной работы были проведены анализ и оценка результативности ИСУ АО «Концерн Росэнергоатом». ИСУ Концерна функционирует с 2016 года; в настоящее время находится на этапе стабильных улучшений.

Проведенный анализ показал: Концерн обладает мощным научно-техническим потенциалом, высококвалифицированным персоналом, является многопрофильной компанией, что необходимо использовать с целью развития новых направлений бизнеса и повышения конкурентоспособности. В действующей системе мониторинга показателей процессов ИСУ Концерна выявлен ряд недостатков, главным из которых является отсутствие автоматизации расчета показателей процессов ИСУ и интеграции данных с системой управления ресурсами предприятия.

В целях укрепления позиции лидера на рынке Концерну предложен комплекс мероприятий по совершенствованию ИСУ, включающий корректировку базовой стратегии развития, создание автоматизированной системы расчета и контроля показателей процессов ИСУ.

Совокупный эффект предлагаемых мероприятий в первый год внедрения составит 342,9 млн. руб. В среднесрочной перспективе (5 лет) рост выручки на 35% покрывает все расходы на реализацию мероприятий и обеспечивает опережающий рост производительности труда (32,8 %) над темпами роста заработной платы (8,3%), что подтверждает высокую эффективность и целесообразность предложенных мероприятий.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р 58542-2019.** Интегрированные системы менеджмента. Руководство по применению. Введ. 01.01.2020. — М.: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

А.А. Воронкина, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ УЧЕБНО-КАРЬЕРНЫХ ТРАЕКТОРИЙ НА ДИНАМИКУ ПЕРЕХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ БИЗНЕС-УКЛАДА

Доминирующий бизнес-уклад (БУ) — это триада инфраструктур, систем менеджмента и человеческих ресурсов [1], причём именно последние несут в себе компетенции, достаточные для реализации первых двух компонент. Процесс обретения этих компетенций можно представить в форме возможных учебно-карьерных траекторий (рис. 1). Учитывая различия в программах подготовки специалистов (преобладают профессиональные компетенции) и управленцев (преобладают надпрофессиональные компетенции), очевидна неравномерность приобретения управленческих компетенций уровня прогрессивного бизнес-уклада. Операционисты и специалисты рискуют обрести необходимые для нового БУ компетенции не на старте карьеры в отрасли, но по прошествии времени, когда они уже привыкли мыслить и действовать по управленческим паттернам доминирующего бизнес-уклада. Этот фактор влияет на динамику перехода отрасли на новый БУ.

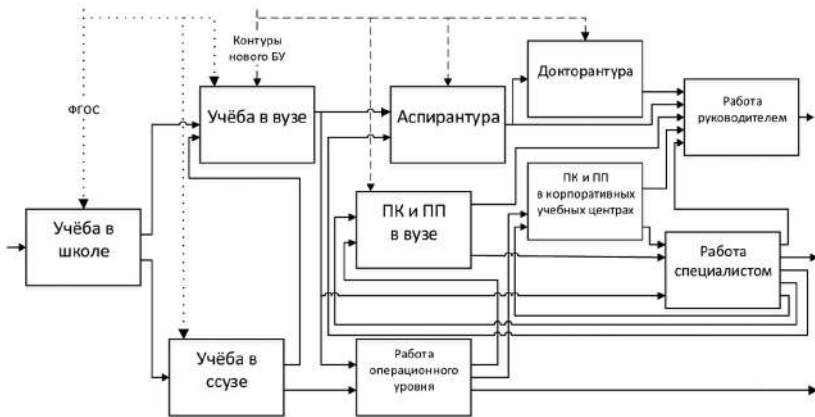


Рис. 1. Учебно-карьерные траектории в электроэнергетике

### Литература

1. Лозенко В.К., Михеев Д.В., Сухарева Е.В., Шиндина Т.А. Теория бизнес-укладов и системно-креативный подход как методологическая основа для реализации концепции устойчивого развития промышленных предприятий // Микроэкономика. 2018. No 4. С. 7–14.

*Д.Е. Кудрявцев, асп.;*  
*рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГИБКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

С виду простая и понятная экономика деятельности энерго и теплосбытовых организаций имеет достаточно много проблемных мест и «подводных камней».

Маневренность основного бизнеса энергосбытов невелика, что обуславливается законодательными ограничениями. Любые кризисные явления в экономике, снижающие платежеспособность потребителей, ведут к снижению выручки, росту долгов и снижению прибыли. Отсутствие внеоборотных активов у энергосбытов ведет к отказу в кредитах со стороны банков, а низкомаржинальный бизнес не привлекает инвесторов [1].

Одним из выходов в сложившейся ситуации является диверсификация бизнеса энергосбытовой организации, создание новых продуктов и выход на конкурентные рынки, не связанные напрямую с продажей тепловой или электрической энергии. При этом энергосбытовые организации уже имеют серьезное конкурентное преимущество в виде сформированной клиентской базы.

В данном контексте, обретает актуальность вопрос пересмотра бизнес-процессов энергосбытовых организаций и внедрения ими клиенто-центричных подходов. Причем изменения компании должны начаться уже на этапе разработки новых продуктов, а не выхода их на рынок [3].

В настоящее время в различных отраслях и сферах хозяйственной деятельности существует достаточно большое разнообразие методик адаптации процессов организации к подобного рода изменениям. Однако одной из наиболее перспективных философий клиентоцентричного бизнеса является инструментарий Agile [2].

Переход энергосбытовой организации к Agile позволяет как успешно разработать новый продукт, вывести его на рынок, так и обеспечить сервис на всех этапах его жизненного цикла с необходимым уровнем контроля и обратных связей.

### **Литература**

1. **Любимова Н.Г.** Внутрифирменное планирование в электроэнергетике. М.: ИУЭ ГУУ, 2006.
2. **Мухин, К.Ю.** Agile-трансформация: миф или революционный управленческий инструментарий? // Научное обозрение: теория и практика. — 2017. — № 11.
3. **Грачёв И.Д., Некрасов С.А.** Взаимоувязка интересов потребителей и производителей энергии как вектор развития отечественной энергетики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 38.

**Направление VII**  
**ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА**  
**ПРЕДПРИЯТИЙ**  
**Energy and economy of enterprises**

---

**Руководитель направления:**

Директор института  
энергоэффективности и водородных  
технологий НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент  
Щербатов Иван Анатольевич

**Секция 32**  
**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**  
**Industrial electric power engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Цырук Сергей Александрович*

*Секретарь секции: Кулешова Галина Сергеевна*

*А.А. Бобряков, асп.; рук. Ю.В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ**

Обеспечение надежности является одной из важнейших проблем при создании и эксплуатации любой технической системы. Особенно актуальна она для сложных систем, таких как системы электроснабжения, состоящих из большого числа элементов и имеющих обширные внутренние и внешние связи.

В электроэнергетике под надежностью электроснабжения понимается способность системы электроснабжения обеспечивать потребителей электроэнергией в нужном количестве и требуемого качества [1]. Перерывы электроснабжения приводят к возникновению ущерба у потребителя электроэнергии. Аварийные отключения являются следствием основного понятия в теории надежности — отказа. Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [2].

Так, причинами аварийных отключений кабельных линий и кабельных участков кабельно-воздушных линий могут быть электрический пробой и механическое повреждение в результате производства несанкционированных земляных работ, воздушных линий и воздушных участков кабельно-воздушных линий — перекрытие на строительную технику в результате производства несанкционированных работ, падение деревьев из-за пределов охранной зоны, перекрытие на металлизированную ленту воздушных шаров.

В данной работе производится классификация причин аварийных отключений в электросетевом комплексе ПАО «Россети Московский Регион» по различным критериям с последующим анализом (по классу напряжения, элементам системы, основным типам причин). Основная задача работы — произвести качественный и количественный анализ причин аварийных отключений элементов системы для оценки надёжности электросетевого комплекса.

### **Литература**

1. **Васильев И.Е.** Надежность электроснабжения / М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 174 с.
2. **ГОСТ 27.002-89.** Межгосударственный стандарт. Надежность в технике.

Ю.А. Измайлов, асп.; рук. Ю.В. Кошарная, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Настоящий доклад посвящен возможности потребителя электроэнергии розничного рынка получать плату за оказание услуг по управлению нагрузкой предприятия. Данная возможность закреплена в Постановлении Правительства РФ от 3 марта 2010 г. N 117 [1]. Оказание услуги реализуется путем принятия потребителем электроэнергии на себя обязательств по частичному снижению нагрузки в определенные часы по команде АО «Системный оператор ЕЭС» (СО). В данном докладе рассматривается потребитель электроэнергии — ледовая арена. Особенность графика нагрузок ледовой арены состоит в последовательной смене режима заморозки 1–2 часа режимом эксплуатации арены без охлаждения. По команде СО необходимо снизить объем потребления на 200 кВт, длительностью разгрузки в течение 2 ч. Таким образом изменяется режим работы компрессора: он продолжает работать в режиме заморозки ледовой арены до наступления часа необходимой разгрузки т.е. перераспределив работу холодильной машины, потребитель смог обеспечить снижение электропотребления в назначенные СО часы без ущерба технологическому процессу и без изменения суточного объема электропотребления (рис. 1).

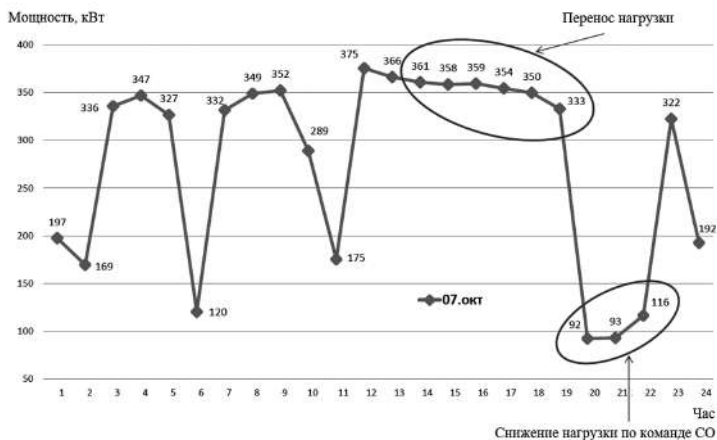


Рис. 1. Почасовое потребление предприятия после перераспределения нагрузки

При этом за снижение нагрузки ледовая арена получит оплату по региональной цене отбора потребителей электроэнергии 398 тыс. руб/МВт в мес. Таким образом, оказание услуг по обеспечению системной надежности является дополнительным инструментом для снижения затрат на энергоресурсы.

### Литература

1. **Постановление Правительства РФ** от 03.03.2010 г. N 117 // <https://www.so-ups.ru/functioning/markets/markets-asm/>



А.А. Дюдяков студ.; рук. С.А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИБРИДНОГО ФИЛЬТРА В УСЛОВИЯХ УХУДШЕННОГО КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ**

Гибридные фильтры (ГФ) [1] представляют собой комбинацию пассивных фильтров (ПФ) и активных фильтров (АФ), что позволяет объединить достоинства и исключить недостатки обоих подходов. В результате обеспечивается эффективность снижения высших гармоник (ВГ) мощных нелинейных нагрузок, широкие возможности регулирования характеристик подавления при изменении структуры сети и уровней гармонической эмиссии, исключается возникновение параллельных резонансов с емкостью ПФ, снижается стоимость устройства.

Наиболее часто при реализации системы управления для ГФ и АФ используется  $p$ - $q$  регулирование [1], которому свойственны недостатки. Например, если при вычислении компенсирующих токов используется несинусоидальное или несимметричное напряжение, скомпенсированный с помощью ГФ ток нагрузки будет содержать существенные уровни ВГ[2].

В рамках работы при помощи моделирования в среде MATLAB-Simulink проанализирована работа ГФ с системой управления на базе  $p$ - $q$  регулирования в реальных условиях электрической сети с ухудшенным качеством электроэнергии: при наличии несимметрии и несинусоидальности напряжения сети.

В результате установлено, что ГФ с пассивной частью, настроенной на частоту 5-ой гармоники теряет эффективность при несимметричном напряжении и при искажении кривой напряжения сети 7 и 11 гармониками, что следует принимать во внимание при использовании ГФ и свидетельствует о необходимости доработки метода регулирования для эффективной работы в условиях ухудшенного качества электроэнергии сети.

### **Литература**

1. **Fujita, Hideaki and Hirofumi Akagi**, "A practical approach to harmonic compensation in power systems-series connection of passive and active filters." Conference Record of the 1990 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (1990): 1107–1112 vol. 2.
2. **Shyh-Jier Huang and Jinn-Chang Wu**, "A control algorithm for three-phase three-wired active power filters under nonideal mains voltages," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 14, no. 4, pp. 753–760, July 1999, doi: 10.1109/63.774215.

*Ю.Ю. Захаров, асп.;*  
*рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛАХ ПРОВОДНИКОВ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ**

Переменный электрический ток повышенной частоты распределяется неравномерно по сечению проводника в отличие от постоянного электрического тока [1, 2]. Практически считается, что основная часть переменного тока повышенной частоты проходит в поверхностном слое проводника, равном глубине проникновения, а остальная внутренняя часть проводника тока не несет и для передачи электрической энергии не используется. При передаче электрической энергии повышенной частоты рационально использовать алюминий, чем медь. Зная глубину проникновения, можно определить эквивалентное сечение проводника при заданной частоте, и тем самым найти его сопротивление при переменном токе. При нескольких проводниках, расположенных так, что их электромагнитные поля существенно влияют друг на друга, в них происходит перераспределение тока по эквивалентному сечению, обусловленному этими полями. Это явление называется эффектом близости. Эффект близости может как увеличивать неравномерность распределения тока повышенной частоты по эквивалентному сечению, так и наоборот равномерно распределить ток повышенной частоты. Следовательно, при определенной конфигурации, вследствие равномерного распределения тока повышенной частоты активное сопротивление проводника может уменьшаться по сравнению с активным сопротивлением уединенного проводника. При исследовании распределения тока повышенной частоты были рассмотрены разные металлы проводников. На основании исследований предложен высоковольтный трехфазный коаксиальный кабель для передачи электрической энергии повышенной частоты. В предлагаемом высоковольтном трехфазном коаксиальном кабеле при передаче электроэнергии повышенной частоты материал проводников используется наиболее эффективно.

### **Литература**

1. **Захаров, Ю.Ю., Лепешкин А.Р.** Исследование распределений тока повышенной частоты при различной конфигурации проводников линии передачи // Промышленная энергетика. — 2022. — № 9. — С. 2–11.
2. **Lepeshkin A.R., Kuvaldin A.B., Zakharov Y.Y. et al.** Studying the EMF in Rotating Disks in the Electromagnetic Field of Permanent Magnets // Bulletin of the Russian Academy of sciences: Physics. 2022. V. 86. No. 9. — pp. 1050–1053.

*Т.А. Сычев, студ.; рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛОВ**

Вопрос проектирования концертных и театральных залов является сложным, так как существуют десятки межгосударственных, государственных и отраслевых стандартов, имеющих обязательный или рекомендательный статус в законодательстве, вызывающих неоднозначность толкования положений и способствующих возникновению спорных вопросов между заинтересованными лицами и организациями, и влияющими на вопросы надежности энергоснабжения.

В настоящее время стали актуальны вопросы качества электрической энергии и надежности электроснабжения концертных залов. Наблюдается до 25% перебоев электроснабжения из-за скачков напряжения, 19% из-за наводки других потребителей, вызванных искажениями синусоидальной формы напряжения вследствие нелинейности нагрузки, присущей отдельным потребителям, число которых постоянно увеличивается из-за внедрения новых технологий спецэффектов.

Используемые усилители являются переменной нагрузкой. Например, рэк с четырьмя усилителями для сабвуферов мощностью  $2 \times 2$  кВт на нагрузке 4 Ом, запитанных параллельно от одной фазы при КПД усилителей 70%, и пик-фактором музыкального сигнала — 6 дБ.

Средняя мощность потребления каждого канала составит 700 Вт, а суммарная мощность всех усилителей — 5,6 кВт. Средний суммарный ток, потребляемый от сети 220 В, составит 25 А. Подводящий кабель длиной 25 м сечением  $4 \text{ мм}^2$ . Среднеквадратичное отклонение за период значение сетевого напряжения на пиках музыкального сигнала — 100 А. Падение напряжения на кабеле — 21 В, или 9,5%. Снижение мощности усилителя — 18%. Оценим влияние нелинейности нагрузки заряда накопительного конденсатора блока питания усилителя. В течение четверти периода питающего напряжения пиковый ток потребления может достигать 400 А в течение 5 мс при условии нулевого сопротивления подводящего кабеля. С учетом реального сопротивления подводящего кабеля ток будет ниже, однако он может значительно превышать максимальное среднеквадратическое за период значение. В итоге снижение амплитудного значения напряжения может составить до 20% и более, а выходная мощность усилителя составит только 60% от возможной.

### **Литература**

1. СП 309.1325800.2017 «Свод правил. Здания театрально-зрелищные. Правила проектирования»
2. [show-master.ru/categories/kachestvo\\_elektrosnabzheniya\\_stsenicheskikh\\_sistem.html](http://show-master.ru/categories/kachestvo_elektrosnabzheniya_stsenicheskikh_sistem.html)

*Г.С. Кулешова, асп.;*  
*рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Актуальным направлением в области развития систем фильтрокомпенсации является разработка более эффективных ФКУ на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов с улучшенными технико-экономическими характеристиками [1, 2]. Конструктивное исполнение таких ФКУ предполагает размещение необходимого числа секций гибридных индуктивно-емкостных элементов на магнитопроводе с немагнитными зазорами (НЗ) [3]. В этой связи особое внимание следует уделить оценке электромагнитной совместимости (ЭМС) ФКУ и электрической сети, что определяет цель и задачи настоящей исследования.

В работе экспериментально исследовано влияние ФКУ на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов на электрическую сеть. Проведено физическое моделирование установившихся режимов работы трехфазной группы, образованной тремя однофазными ФКУ на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов, при подключении к трехфазному синусоидальному источнику напряжения ( $f = 50$  Гц) для двух случаев: 1) НЗ между участками магнитопровода отсутствует; 2) длина НЗ составляет 5 мм. Анализ полученных в результате экспериментальных исследований осциллограмм напряжений и токов показал, что наличие НЗ позволяет снизить в значительной степени уровень нелинейности ФКУ на основе гибридных индуктивно-емкостных элементов и обеспечить ЭМС из-за нивелирования высших гармоник тока и напряжения.

Результаты исследования могут быть применены при разработке, конструировании и проектировании ФКУ низкого и среднего классов напряжения на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов.

### **Литература**

1. **Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Кужман В.В., Михеев Д.В.** Математическое и физическое моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе каткона // *Электричество*. 2014. № 11. С. 58–62.
2. **Кулешова Г.С., Михеев Д.В.** Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента // *Промышленная энергетика*. 2020. № 12. с. 9–16.
3. **Патент РФ №2714925.** Фильтрокомпенсирующее устройство // Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Михеев Д.В. и др. 2020.

*М.С. Свистун, студ.; рук. Ю.М. Аверина, к.т.н. (РХТУ);  
Л.М. Ульев, соиск.; М.В. Канищев, соиск*

## **ПИНЧ АНАЛИЗ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ГИДРООЧИСТКОЙ**

Процессы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности являются одними из наиболее энергоемких процессов среди всех производств. Поэтому поиск и синтез системных технологических решений снижения удельного энергопотребления в этих областях промышленности является актуальной задачей. В России в настоящее время эксплуатируются 39 крупных нефтеперерабатывающих заводов, технологические установки на большинстве из которых были спроектированы и построены в период, когда стоимость энергетических ресурсов была сравнительно невысокой, и на данный момент эксплуатируются далеко не в оптимальном режиме.

Наиболее эффективными методами повышения энергоэффективности промышленных предприятия, применяющих химико-технологические способы производства и переработки продуктов, являются методы интеграции процессов и, в частности, метод пинч анализа [1]. Данные методы нашли применение в нефтепереработке, особенно широко они используются при реконструкции установок первичной переработки, поскольку вся нефть, поступающая на НПЗ, проходит через них. Однако, работ по реконструкции установок вторичной переработки нефти практически нет, поэтому данная тема является актуальной.

В работе выполнена теплоэнергетическая интеграция установки каталитического риформинга нефти с предварительной гидроочисткой. Для этого с помощью математического моделирования построены потоковая таблица и сеточная диаграмма исходного процесса. Затем с использованием правил пинч анализа синтезирована энергоэффективная система теплообмена установки, которая позволила снизить удельное потребление горячих утилит на 8%, а холодных на 15%.

### **Литература**

1. **Смит Р.** Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2000. — 458 с.

*П.В. Митрофанов, Д.В. Дубинин, студенты;  
рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ**

Основной целью этой работы является определение влияния на сеть различных бытовых электроприемников, как поодиночке, так и в группе. В перспективе данная работа поможет улучшить качество электроэнергетики. Дополнительной задачей проекта является разработка учебного стенда, который представляет собой макет квартиры с бытовыми электроприемниками.

Для исследования в узел нагрузок подключались различные электроприборы и при помощи осциллографа фиксировались точки кривых токов и напряжений. Информация сохранялась в виде таблиц, после чего для обработки данных был написан скрипт. При исследовании нагрузок главной задачей было получить массивы данных характеристик и информацию о их гармоническом составе для дальнейшего моделирования этих нагрузок при помощи микроконтроллера, который в будущем может быть использован при разработке учебного стенда. Таким образом, получится создать рабочую модель квартиры с близкой к реальной нагрузке, что позволит наглядно продемонстрировать ее.

В ходе исследований были получены характеристики одних из распространенных бытовых электроприемников, которые позволят оценить их влияние на сеть. Помимо этого, был предложен метод по реализации моделирования этих нагрузок при помощи микроконтроллера и DC/AC преобразователя.

### **Литература**

1. **Коваленко Д.В., Смирнов П.С., Дубровский Д.В., Матвеева М.С., Рубанов Н.В.** Измерение показателей качества электрической энергии в сети компьютерного класса и разработка мероприятий по фильтрации высших гармоник // Омский научный вестник. 2018. № 6(162). С. 108–114.
2. **Медведев К.М., Максименко Д.В.** Моделирование однофазных административно-бытовых электроприемников, потребляющих резко несинусоидальный ток // Вестник ГГТУ имени П.О. СУХОГО. 2013. № 1(52). С. 48–55.

*О.Д. Игнатов, студ.;*  
*рук. М.С. Егоров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФКУ С ИНДУКЦИОННЫМИ ТИГЕЛЬНЫМИ ПЕЧАМИ**

Особенностью индукционных тигельных печей является нагрузка питающей сети несинусоидальным током и, как следствие, снижение показателей качества электрической энергии в месте их подключения. Высшие гармонические составляющие тока часто приводят к негативным последствиям для всех элементов системы электроснабжения.

Использование трехфазного преобразователя частоты, выполненного по мостовой схеме, в печах ИЧТ/ИАТ и аналогичных приводит к возникновению пятой, седьмой, одиннадцатой и тринадцатой гармоник [1]. Это усугубляется изначально низким уровнем коэффициента мощности, который может находиться в диапазоне 0,3...0,8 в зависимости от степени загрузки и режима работы печи. При отсутствии компенсации реактивной мощности (РМ) у установок мощностью 2,4 МВА расчетный ток может достигать 346 А. При этом коэффициенты гармонических составляющих напряжения (ГСН) по каждой из гармоник превысят допустимые значения для диапазона напряжений 6–25 кВ. Суммарный коэффициент ГСН составит 10,9%, что также выше регламентированной нормы в 5% [2].

Низкий коэффициент РМ и наличие высших гармоник делают целесообразным использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) совместно с данными печами. Исходя из желаемой расчетной реактивной мощности конденсаторов в 4 МВАр и условий возникновения резонанса в последовательном контуре были подобраны требуемые параметры ФКУ.

Применение ФКУ позволяет добиться низких значений токов высших гармоник. Из-за активной части сопротивления конденсаторов и реакторов, погрешностей емкости и индуктивности, сложности подстройки параметров резонансного контура могут сохраняться 2–3% тока высших гармоник. Суммарный коэффициент ГСН составит 0,3–0,4%, что допустимо согласно требованиям к показателям качества электроэнергии. Расчетный ток рассматриваемой печи снизится до 164 А. Таким образом очевидна эффективность применения фильтрокомпенсирующих устройств совместно с нелинейной нагрузкой, в частности, с индукционными тигельными печами.

### **Литература**

1. **Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р.** Управление качеством электроэнергии // М., Издательский дом МЭИ, 20172.
2. **ГОСТ 32144-2013** «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

*Н.А. Немчинов, А.А. Жигadlo, студ.;  
рук. Е.Н. Рыжкова, д.т.н., проф (НИУ «МЭИ»)*

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ТИПА ДУГОГАСЯЩИХ РЕАКТОРОВ

Выбор дугогасящего реактора (ДГР) является комплексной и сложной задачей. Предложенная методика, представленная в разработанном алгоритме [1] призвана упростить эту задачу. В ходе научной работы, были проанализированы экономические показатели, а также преимущества и недостатки каждого из типов реакторов.

Предложено рассматривать три самых распространённых типа ДГР: РЗДСОМ, РЗДПОМ и РУОМ. Все рассматриваемые реакторы выбираются по условию реактивной мощности (1). Это условие является необходимым, но не достаточным из-за высоких требований к точности настройки ДГР на резонанс. Следовательно, необходима проверка на точность настройки, которая зависит от типа рассматриваемого реактора.

$$Q_k \geq 1,25I_c \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где  $I_c$  — ток однофазного замыкания на землю, А;  $U_{ном}$  — номинальное напряжение сети.

Первыми к рассмотрению принимаются реакторы типа РЗДСОМ, как самые дешёвые и проверяются по условию (2).

$$\frac{I_{min} + \Delta I \cdot n - I_c}{I_c} \cdot 100\% \leq 5\%. \quad (2)$$

где  $I_{min}$  — минимальный ток регулирования реактора;  $\Delta I$  — значение тока шага регулирования;  $n$  — шаг регулирования.

Если реакторы РЗДСОМ не проходят проверку или по проекту необходима плавная регулировка рассматривается ДГР типа РЗДПОМ. Для этого типа проверка проводится по условию (3).

$$0,15(I_{max} - I_{min}) \leq I_c \leq 0,75(I_{max} - I_{min}). \quad (3)$$

где  $(I_{max} - I_{min})$  — диапазон тока регулирования реактора, А.

РУОМ рассматриваются в последнюю очередь из-за большой стоимости и существенных технических недостатков. Их применение оправдано, когда необходима одновременно плавная и быстрая регулировка. Проверяются РУОМ — по условию (3).

### Литература

1. Жигadlo А.А., Немчинов Н.А., Рыжкова Е.Н. Разработка алгоритма для выбора режима нейтрали промышленного объекта. // Фёдоровские чтения — 2022: LI научно-практическая конференция с международным участием. М.: Издательский дом МЭИ, 2022. — С. 195–199.



**Секция 33**  
**ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ**  
**Energy of heat technologies**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Степанова Татьяна Александровна*

*Секретарь секции:*

*к.т.н., доцент Строгонов Константин Владимирович*

*М.В. Поляков, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКЕ**

Рост цен на ископаемые топлива и стремление к повышению эффективности топливоиспользования стимулируют поиск и исследование инновационных способов выработки энергии. Одним из перспективных способов повышения эффективности высокотемпературных установок является применение термохимической рекуперации (ТХР) [1].

Цель работы — увеличение удельной выработки электроэнергии в газотурбинных установках (ГТУ) посредством ТХР теплоты газовых отходов на основе паровой конверсии природного газа.

Разработана и реализована в среде Aspen Hysys математическая модель ГТУ с применением ТХР. Модель создана на основе анализа передовых производителей на рынке ГТУ — таких, как Siemens, Mitsubishi и General Electric.

На первом этапе из расчета цикла ГТУ получен расход природного газа на турбину согласно заданным производителями значениям коэффициента сжатия воздуха в компрессоре и температуры газов на выходе из газовой турбины. На втором этапе исследования Aspen-модель ГТУ дополнена системой ТХР теплоты газовых отходов, включающей реактор паровой конверсии, подогреватель парогазовой смеси и парогенератор. Реактор паровой конверсии генерирует синтез-газ, который подается в камеру сгорания (КС) вместо природного газа.

Проведено сравнение выработки электрической энергии в стандартном цикле ГТУ (схема 1), в ГТУ с подачей пара в КС (схема 2) и ГТУ с ТХР (схема 3) при выполнении условий сопоставимости: 1) одинаковый расход природного газа во всех трех схемах; 2) одинаковая температура уходящих газов (в схемах 2 и 3). Выявлена зависимость коэффициента полезного действия ГТУ от коэффициентов  $\beta$  — соотношения массовых расходов водяного пара и природного газа и  $\pi$  — степени сжатия воздуха в компрессоре. Определена область энергоэффективного применения ТХР в ГТУ. Выполнен конструктивный расчет реактора паровой конверсии.

Результаты исследования могут быть использованы при модернизации действующих и создании новых ГТУ, применяющих ТХР теплоты газовых отходов на основе паровой конверсии природного газа с целью повышения полезного топливоиспользования установок.

### **Литература**

1. **Попов, С.К.** Термохимическая рекуперация в высокотемпературной теплотехнологии: монография / С.К. Попов. — М.: Издательство МЭИ. — 2018.

*В.А. Мучник, бак.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТОПЛИВНОЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ**

В стекловаренной печи теплота газовых отходов составляет значительную долю тепловых потоков, отводимых от печи. Повышение эффективности использования топливных ресурсов в данной высокотемпературной теплотехнологической установке (ВТУ) может быть достигнуто тремя путями. Первый путь состоит в уменьшении тепловых отходов ВТУ. Второй путь заключается в их регенерации (рекуперации). Третий путь — внешнее дополнительное использование тепловых отходов в энергетических или в технологических целях [1].

Объектом исследования выбрана действующая топливная рекуперативная стекловаренная печь в системе производства стекловолокна. Исследован ряд энергосберегающих мероприятий: повышение температуры регенеративного подогрева окислителя, повышение  $K$  — объемной доли кислорода в окислителе, оснащение печи паровым котлом-утилизатором с выработкой электроэнергии в паротурбинном цикле. Исследование выполнено посредством разработанных программ в среде Mathcad. Получены количественные оценки энергетической и экологической эффективности трех мероприятий.

Установлено, что повышение температуры окислителя с 800 °С до 1000 °С обеспечивает снижение расхода топлива на 13%.

Исследовано влияние  $K$  на видимый и суммарный (с учетом дополнительных энергозатрат на производство кислорода) удельный расход топлива. Установлено, что наиболее заметное снижение удельных расходов топлива наблюдается с ростом  $K$  до 0,5. При увеличении  $K$  с 0,21 до 0,95 видимый удельный расход топлива (в пересчете на условное топливо) снижается на 58 кг у.т/т, а дополнительные энергозатраты достигают уровня 30 кг у.т/т. Одновременно в 2,6 раза снижается тепловой поток с уходящими газами, уменьшая тепловое загрязнение окружающей среды. Топливо-кислородные стекловаренные печи являются более эффективными и экологически чистыми, чем их топливо-воздушные аналоги.

Внешнее дополнительное использование теплоты газовых отходов с выработкой электроэнергии дает экономию топлива в замещающей котлом-утилизатором установке 20–50 кг у.т/т в зависимости от  $K$ .

Исследованные мероприятия позволяют снизить потребление ресурсов и способствуют уменьшению негативного влияния на окружающую среду.

### **Литература**

1. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: учебник для вузов / И.И. Перелетов, Л.А. Бровкин, Ю.И. Розенгарт и др. / под ред. А.Д. Ключникова. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 336 с.

В.А. Мурашов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ДЕГАЗАЦИЯ СТАЛИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

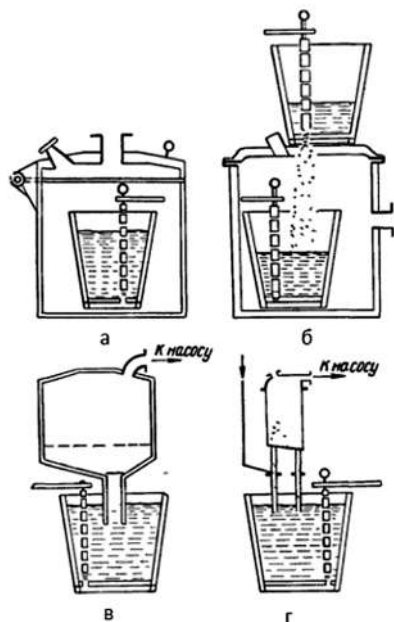


Рис. 1. Вакууматоры; а — ковшевой; б — струйный; в — порционный; г — циркуляционный

растут, при этом расчёты [3] показывают, что непрерывное вакуумирование обеспечивает снижение энергетических затрат по сравнению с процессом периодического вакуумирования.

Вакуумирование стали или дегазация стали — процесс удаления примесей (в виде газов или паров) из жидкой стали, для улучшения её качества.

В настоящее время активно работают сотни установок внепечного вакуумирования различной конструкции. Основными являются: ковшевое вакуумирование; порционное вакуумирование; циркуляционное вакуумирование; струйное вакуумирование (рис. 1).

Каждая технология имеет свои сильные и слабые стороны, но все представленные на сегодняшний день решения являются установками периодического действия, так как текущие конструкции для плавки стали периодического или полупериодического действия [1].

В текущий момент разрабатывается энергоэффективный сталеплавильный агрегат непрерывного действия, включающий зону дегазации [2].

Стоит отметить, что требование к качеству стали постоянно растут, поэтому объёмы вакуумирования также

### Литература

1. В. Рощин, А. Рощин Электрометаллургия и металлургия стали. — Litres, 2022.
2. Патент № 2760199 Российской Федерации МПК51 С21В 13/06 Агрегат непрерывного получения стали / Строгонов К.В., Корнилова Л.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «НИУ «МЭИ»; №2020144107; опубл. 22.11.2021, Бюл. № 33.
3. В.А. Мурашов, А.А. Борисов, А.С. Попов, К.В. Строгонов Разработка энергоэффективной печи барботажного типа / Технологии будущего: VI Междунар. научн.-техн. конф. Студентов и аспирантов (23–27 мая 2022 г., Москва): сборник трудов конференции. — М.: Издательство МЭИ, 2022. С. 284–289.

А.К. Бастынец, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## СНИЖЕНИЯ УГАРА КОКСА В УСТК

Основным источником топлива в металлургическом производстве является кокс. Средняя температура кокса к концу периода коксования составляет 950–1050 °С [1]. Во избежание горения раскаленного кокса, выгруженного из печи, необходимо кокс «потушить». То есть снизить его температуру до 250–100°С, исключаящую самовозгорание и тление [2].

Существует два основных способа тушения кокса — мокрый и сухой.

В настоящее время, установки сухого тушения кокса (УСТК), широко распространены, благодаря своим преимуществам, важнейшим из которых является выработка пара и электроэнергии за счет использования до 30% тепла, затраченного на коксование [1].

Однако главным недостатком метода сухого тушения кокса является его «угар», который может составлять от 0,5% до 1,6% [2]. Основной причиной возникновения угара кокса является наличие кислорода в составе циркулирующего газа, приводящего к окислению углерода кокса. Для уменьшения угара предлагается использовать в качестве циркулирующего теплоносителя инертный газ состоящий исключительно из азота N<sub>2</sub>. Ожидается снижение угара кокса в 3 раза, что будет составлять от 0,5% до 0,6% (рис. 2). Предполагается, что металлургическое предприятие сможет себя обеспечить необходимым объемом азота, так как он является побочным продуктом при производстве кислорода в кислородных цехах. Конечным результатом внедрения технологии предполагается снижение угара кокса, которое позволит повысить количество основного энергетического ресурса, используемого в доменной печи.

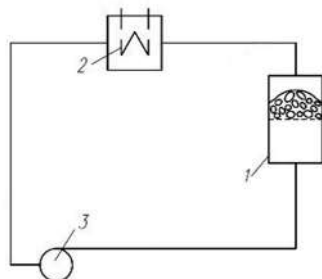


Рис. 1. Схема УСТК:  
1 — тушительная камера;  
2 — теплообменник;  
3 — нагнетатель

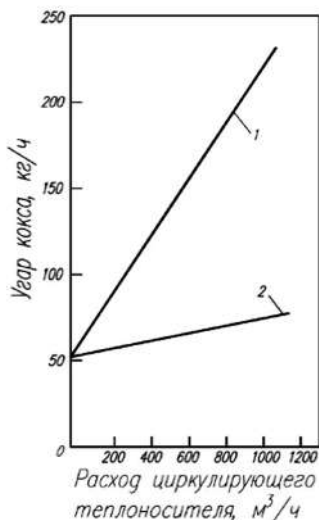


Рис. 2. Зависимость угара кокса от расхода газа  
1 — воздух; 2 — азот

### Литература

1. Духан В.Н. Мастер коксового производства М.: Металлургия, 1970. — 368 с.
2. Теплицкий М.Г. Сухое тушение кокса / М.Г. Теплицкий, И.З. Гордон, Н.А. Кудрявая, М.С. Кручинин, Ю.М. Волович. — М.: Металлургия, 1971. — 264 с.

А.А. Борисов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОБЗОР ОГНЕУПОРНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА

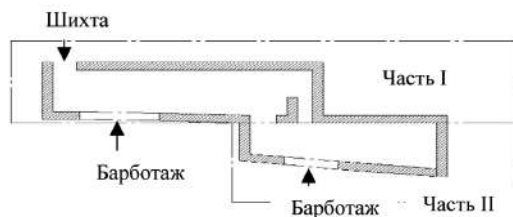


Рис. 1. Сталеплавильный агрегат

Разрабатывается сталеплавильный агрегат [1], проиллюстрированный на рисунке 1. Восстановление в первой части установки (I) осуществляется природным газом или водородом за счёт организации донной продувки. Во второй части установки (II) способ получения

стали из чугуна сопоставим с донной продувкой в кислородно-конвертерном процессе. Важным является подбор огнеупорных и теплоизоляционных материалов.

Футеровка печи Ромелт состоит из 4 слоев. Нижний выкладывается из графитизированных блоков. Второй слой из углеродистых блоков, следующий слой из магнезита, а рабочий слой из периклазохромита [2].

Для огнеупорной футеровки доменной печи используют алюмосиликатные и углеродистые огнеупоры. При кладке нижней части печи помимо шамотных огнеупоров применяются высокоглиноземистые.

Футеровка конвертера выполняется из 2 слоев. Внешний слой сделан из так называемого магнезитового кирпича. Внутренний слой пропитан каменноугольной смолой доломитовых кирпичей.

Конструктивное решение по проектированию огнеупорных материалов для сталеплавильного агрегата производится после детального изучения применения футеровок в различных технологиях.

### Литература

1. Патент № 2760199 Российской Федерации МПК51 С21В 13/06 Агрегат непрерывного получения стали / Строгонов К.В., Корнилова Л.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «НИУ «МЭИ» №2020144107; опубл. 22.11.2021, Бюл. № 33.
2. В.А. Роменец. Процесс Ромелт. Москва.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2005.

*И.И. Феоктистов, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА МЕТОДОМ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

Глобальное изменение климата и истощение не возобновляемых ресурсов, а именно нефти и природного газа побуждает человечество искать новый источник энергии, такой как водород [1].

Несмотря на высокую энергоёмкость и то, что использование водорода не создаёт выбросов, опасных для окружающей среды и здоровья человека, его перспективы зависят от технологии производства без выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Технологии CCUS позволят реализовать производство водорода путем газификации твёрдого топлива без вреда для экологии [2].

Была разработана модель, на основании которой проведены расчеты коэффициентов расхода окислителя, содержания кислорода в окислителе, объём подаваемого пара и их влияния на состав генераторного газа. Для проверки корректности модели было проведено моделирование процесса с такими же коэффициентами в программе Aspen Plus.

Для исследования конструкции способа газификации был выбран реактор вращающегося кипящего слоя (РВКС), для которого было проведено моделирование в программном комплексе ANSYS Fluent. На базе огневого стенда РВКС лаборатории кафедры ИТНО в программе SolidWorks была построена трёхмерная геометрическая модель для последующего импорта в ANSYS Fluent. Исследование проводилось с использованием двух моделей — Non-Premixed Combustion и Species Transport при использовании модели кинетики процесса газификации, представленной в [3].

Как результат, представленное исследование подтверждает эффективность предлагаемого состава окислителя и способа реализации процесса газификации угольного топлива с целью получения водородсодержащего генераторного газа на основе модели Species Transport.

### **Литература**

1. **С.К. Попов, В.А. Ипполитов** Процессы и установки газификации топлива: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2016.
2. **Д.Ю. Гамбург, Н.Ф. Дубровкин** Водород. Свойства, получение, транспортирование применение: справочник. М.: Химия, 1989.
3. **Pravin Nakod** CFD Modeling and Validation of Oxy-Fired and Air-Fired Entrained Flow Gasifiers — 28 — Air-Fired Entrained Flow Gasifiers IJCCPS Vol. 2, No. 6, Nov-Dec 2013 ISSN: 2319-6602

*Е.В. Детцель, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

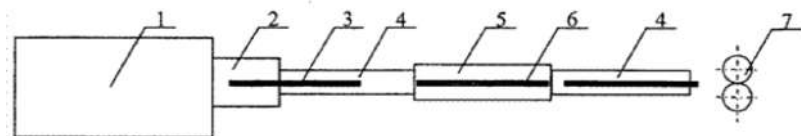
## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ЗАЩИТНОЙ СРЕДЕ

На сегодняшний день индукционный нагрев наиболее развит, по сравнению с другими электротермическими процессами, и его доля в производстве составляет около 80% [1]. Это объясняется его преимуществами, заключающимися в качестве продукции, высокой плотности энергии, быстрого нагрева, минимальной потери металла, а также стоимости процесса.

Настоящая работа направлена на исследование одного из способов снижения потерь металла с угаром и окалинообразованием путем совмещения нагрева в печи и догрева заготовки в индукционной установке.

Первым этапом заготовка нагревается в нагревательной печи до 650 °С, после чего, попадая на роликовый конвейер, проходит механическую очистку. Далее изделие подается в индукционную установку с кожухом, который заполнен защитной средой, футерованным теплоизоляционным материалом с металлическим каркасом, где нагревают заготовку до температуры прокатки (до 1200 °С).

Реализация предлагаемого способа (Индуктор по патенту № 2430977) представлена на рисунке 1 [2]:



**Рис. 1.** Схема предлагаемого технического решения

1 — нагревательная печь; 2 — устройство по очистке заготовок от окалины; 3 — нагретая и очищенная заготовка; 4 — утепленный кожух; 5 — устройство индукционного нагрева; 6 — нагреваемая до температуры прокатки заготовка; 7 — черновая клеть стана

Предлагаемое технологическое решение используется для промежуточного нагрева, который, служит для выравнивая температуры в заготовке, что обеспечивает повышение качества продукта, а также для снижения доли угара металла по предварительным оценкам с 3% до 0,4%.

### Литература

1. Демидович В.В. Теория, исследование и разработка индукционных нагревателей для металлургической промышленности. СПб.: 2002.
2. Строгонов К.В., Носов А.Д., Бирюков А.В. Патент «Способ нагрева заготовок на сортовых и проволочных станах». 2010.



*Д.Д. Львов, асп.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)*

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕДОМЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА**

Непрерывный рост индустриализации и населения нашей планеты сопровождается постоянным увеличением спроса на изделия из стали. Производство стали традиционными методами сопутствуется ежегодным сокращением запаса коксующихся углей и высокими выбросами вредных веществ в атмосферу, в том числе и углекислого газа, высокая концентрация которого является одним из основных факторов повышения средней температуры поверхности Земли.

В настоящее время, основной технологией производства стали является доменное, которое составляет 95% в мире и в РФ, а альтернативной внедоменное — 5% [1]. Одним из наиболее перспективных способов экологически чистого и энергоэффективного производства стали является внедоменное. На данный момент существует около сотни различных процессов прямого восстановления железа, однако, реализовано из них менее десятка: COF, DIOS, DORED, HyL, Midrex, Corex, Finex, AusIron, HIs melt [2].

Процессы, получающие развитие в промышленности, можно условно разделить на жидкофазные, использующие уголь, твердофазные использующие уголь и твердофазные использующие природный газ. Между тем, как показывают работы некоторых исследователей наиболее эффективным, может быть жидкофазный процесс восстановления железа, базирующийся на использовании природного газа [3].

Также необходимо обратить внимание на вопрос создания технологии с полностью автоматизированной системой управления с непрерывным процессом производства сталелитейной продукции от руды до проката. Использование данной технологии позволит повысить конкурентную способность продукции на рынке за счет повышения её качества, уменьшения производственных потерь и облегчения полного использования непрерывно выделяющихся побочных продуктов тепла и газов [4].

### **Литература**

1. **Мишин Ю.П.** О конкурентоспособности Российской металлургии // Чистая сталь: от руды до проката, 2020, С. 6–9.
2. **Войнов О.Ю.** Сравнение энергозатрат в современных технологиях производства стали // Энерго и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Екатеринбург, 2017, С. 127–131.
3. **Картавец С.В.** Интенсивное энергосбережение и технический прогресс черной металлургии. — 2008.
4. **Иванцов Г.П., Васильев А.В., Смирнов В.И.** Непрерывный сталеплавильный процесс. — Металлургия, 1967.

*Н.С. Тимонин, студ.;*  
*рук. Р.Н. Габитов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

Переработка твердых отходов играет важную роль в обеспечении сырьевыми ресурсами для строительной отрасли, химической промышленности и энергетики. Переработке по состоянию на 2021 год подвергается до 25% отходов коммунального хозяйства, из которых частично извлекаются и сортируются бумага, полиэтилен, ткани, резина. Не извлечённые отходы захораниваются на полигоне.

Наиболее перспективным методом переработки с экологической точки зрения является пиролиз отходов. Существующие установки по термической переработке позволяют получить из отходов пиролизный газ, масло, углеродистый остаток и тепловую энергию. Изучение конструкций и анализ работы установок шахтного типа с совмещенной зоной сушки и пиролиза [1] позволило выявить такие преимущества как простота конструкции, надежность, малые выбросы по сравнению с сжиганием. Однако имеются недостатки в работе установки на отходах с влажностью более 35% — низкий коэффициент полезного действия, нестабильный состав пиролизного газа.

Для решения этой проблемы предлагается установка с отдельными зонами сушки, пиролиза, камерой сжигания и теплообменником для подогрева воздуха. Установка для термического разложения частично подготовленных твердых органических отходов содержит камеру пиролиза, установленную внутри камеры сжигания в корпусе, с узлом отбора пиролизного газа для подачи его внешнему потребителю и в камеру сжигания, снабжена накопительной камерой с шлюзовым затвором и камерой сушки с щелевыми отверстиями для прохода горячего воздуха, подаваемого из теплообменника-подогревателя воздуха. Камера сжигания снабжена топочными перегородками для организации движения потока продуктов сгорания исходя из требуемой продолжительности пребывания продуктов сгорания в рабочем пространстве камеры. Предложенная установка позволяет перерабатывать отходы с влажностью до 50%.

### **Литература**

1. **Габитов, Р.Н.** Разработка конструкции печи для утилизации твердых отходов и оценка эффективности ее работы / Р.Н. Габитов, О.Б. Колибаба, А.И. Сокольский, А.В. Прошева // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2019. — № 5. — С. 23–30. — DOI 10.17588/2072-2672.2019.5.023-030

*А.А. Сергиенкова, соиск.; И.А. Васильев, студ.;  
рук. Е.В. Гусев, к.т.н., доц. (ИГУЭ, Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗОЛЬНОЙ КЕРАМИКИ**

Одним из перспективных направлений утилизации техногенных золошлаковых отходов энергетических предприятий является использование их в производстве глинозольной керамики.

Основными преимуществами применения в производстве керамических изделий золошлаковых отвалов ТЭС являются их схожесть свойств и химико-минералогического состава с глинистым малопластичным сырьем и способность снижению энергозатрат при сушке за счет улучшения сушильных свойств отформованных изделий-сырцов и термическом обжиге вследствие появления внутреннего источника тепла от сжигания остаточного углеродсодержащего топлива в золе [1]. Однако использование топливосодержащих отходов в керамической промышленности во многом сдерживается неудовлетворительными эксплуатационно-техническими свойствами готовой продукции и вовлечением дополнительного перерабатывающего оборудования.

По нашим исследованиям (по ИК-спектрам, ТГ, ДТА) различных составов глинозольных образцов из местных сырьевых материалов, сформованных полужестким пластическим способом, выявлено, что наиболее проблемным в технологии глинозольной керамики является стадия обжига, где происходит интенсивное неравномерное выделение газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) и теплоты в объеме изделия в области температур  $400\div 700^\circ\text{C}$ , что приводит к снижению качества керамического материала.

Дополнительная переработка 50% водной глинозольной суспензии пневматическим распылением в сушильно-измельчительном аппарате вихревого типа позволяет получить однородную тонкодисперсную (менее 100 мкм) шихту с заданной формовочной влажностью [2].

Использование данного материала в производстве глинозольной керамики позволило интенсифицировать процессы сушки и обжига, снизить их продолжительность с получением стеновых керамических изделий, отвечающим требованиям по физико-механическим показателям.

### **Литература**

1. **Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Кулбеков М.** Зола ТЭС в производстве строительной керамики. Алма-Ата: Казахстан, 1986.
2. **Патент** на полезную модель № 211310 U1 Российская Федерация, МПК F26B 17/10. Устройство для термической обработки влажных дисперсных материалов: № 2022105554: заявл. 01.03.2022; опубл. 31.05.2022 / Е.В. Гусев, О.Б. Колибаба, А.И. Сокольский, Д.А. Долинин, А.А. Сергиенкова.

*А.П. Мунин, аспирант; рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доцент,  
А.В. Кульбякина, к.т.н., доцент.  
(СГТУ имени Гагарина Ю.А, г. Саратов)*

## РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Одним из перспективных направлений повышения эффективности действующих и проектируемых предприятий переработки углеводородного сырья (ПП УВС) является оптимизация структуры и режимов работы их энергетического комплекса, в том числе за счет повышения глубины и степени использования низкотемпературных и низкокалорийных вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), развития собственной генерации энергетических ресурсов (ЭР) с замещением энергопотребления от сторонних источников, сокращением удельного энергопотребления [1].

Энергетический комплекс ПП УВС представляет собой сложную систему, включающую подсистемы как: топливная, теплотехническая, электротехническая, основным назначением которых является надежное и бесперебойное обеспечение всеми видами ЭР требуемых параметров основных и вспомогательных технологических процессов (Рис. 1) [2].

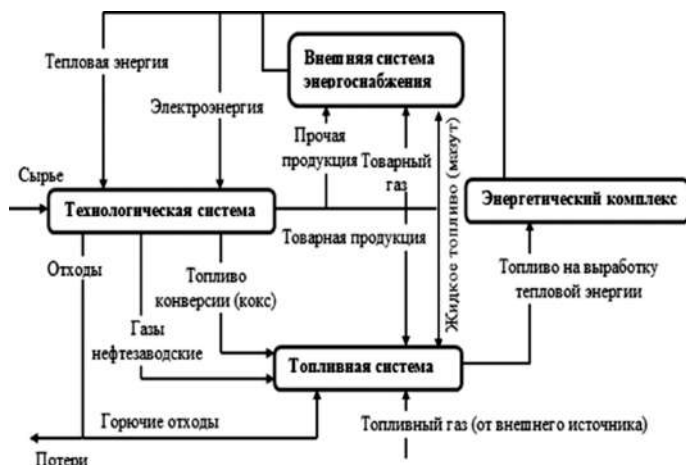


Рис. 1. Схема взаимосвязей подсистем энергетического комплекса и внешнего источника энергообеспечения

### Литература

1. Kulbyakina A.V, Ozerov N.A, Savelyeva A.I, Munin A.P, Batrakov P.A. «Efficiency improvement of oil and gas facilities power supply systems», Journal of Physics: Conference Series, Scopus 2021 г.
2. Кульбякина А.В, Озеров Н.А, Мунин А.П. «Анализ структуры систем теплоснабжения предприятий переработки нефти» Вестник КРСУ. 2021 г. Том 21. № 4 ВАК.

*Н.А. Морозов, Н.А. Давкина, студенты;  
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц. (СГТУ, Саратов)*

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ**

Одним из особо важных конструктивных элементов стекловаренных печей являются регенеративные подогреватели. Неудовлетворительная работа регенератора может вызвать в процессе эксплуатации печи множество неблагоприятных проблем, которые в конечном итоге повлияют на ее технико-экономические показатели процесса.

Работа генератора обеспечивает подачу воздуха через «влет» регенератора во внутреннее пространство ванны расплава стекломассы [1].

Повышение эффективности регенерации теплоты дымовых газов является одной из самых важных проблем промышленного стекловарения.

Поэтому при решении проблемы повышения эффективности работы регенератора необходимо решать следующие вопросы:

1. Выбор оптимального типа насадки с высокой удельной поверхностью нагрева.
2. Повышение стойкости огнеупорных материалов
3. Замена однооборотной конструкции регенератора.

Прежде всего материал насадки должен обеспечить устойчивость к воздействию высоких температур в верхней части насадки, а также устойчивость к воздействию щелочных паров. В средней части насадки необходимо иметь устойчивость к воздействию продуктов конденсации щелочных паров, минимальную смачиваемость материала насадки продуктами конденсации. Для нижней части насадки иметь термостойкие материалы. Подводя итог огнеупорные материалы насадки должны иметь высокую аккумуляцию теплоты и обеспечивать наиболее полную отдачу теплоты нагреваемому воздуху.

Реконструкция регенератора включает в себя замену одноходового на двухходовой, что увеличит температуру воздуха на выходе из регенератора, что приведет к снижению потребления природного газа [2].

### **Литература**

1. **Муртазин М.Р., Иноземцев В.К., Яфаров Р.К., Волков К.О.** Развитие деформаций крена регенератора воздуха стекловаренной печи // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 46–50.
2. **Хапрова В.А., Майоров М.А.** Модернизация стекловаренной печи на заводе АО «Ю.М.Э.К.» г. Южноуральск // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. 2019. Т. 7. № 1. С. 216–217.

*Н.А. Давкина, Н.А. Морозов, студенты;  
рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц. (СГТУ, Саратов)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Любая технология, в том числе и химическая технология стекла, складывается из множества отдельных технологических процессов. Так повышению показателей работы стекловаренной печи способствуют: рациональные конструкторские решения ее отдельных элементов; применения для кладки узлов печи самые современные огнеупорные материалы с учетом особенностей их службы; интенсификация процессов стекловарения различными методами (химическими, термическими, гидродинамическими); грамотная техническая эксплуатация ее в течение всего срока службы.

Повышение эффективности и других показателей работы производства должно сопровождаться интенсификацией производственных процессов. Это достигается благодаря комплексному подходу к производству за счет применения высококачественного вида сырья, высоких температур при варке стекломассы, высоких скоростей при формовании листов стекла и уменьшению уноса компонентов шихты.

Листовое стекло должно соответствовать всем заявленным техническим требованиям: быть бесцветным; прочным; термически и химически стойким [2]. Для этого на начальной стадии производства технологи должны уделить особое внимание сырьевым компонентам, а также таким свойствам шихты, как влажность и однородность. Таким образом, при подсчете эффективности производства, будет заметен результат по составу и техническим характеристикам стекла, а также экономия топлива в зависимости от подготовки шихты.

### **Литература**

1. **Сивко А.П.** Технология электролампового стекла. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2015.
2. **Власова С.Г.** Основы химической технологии стекла. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2013.

*А.В. Гашуренко, Т.В. Смурова, студенты;  
рук. С.В. Картавец, д.т.н., проф.  
(МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

На предприятиях черной металлургии образуется большое количество вторичных топливных газов. Утилизация этих газов позволяет снизить закупки предприятиями внешних энергетических ресурсов, что актуально с точки зрения энергосбережения [1].

В настоящее время эти газы утилизируются неполностью.

Доменный, коксовый и конвертерный газы обладают разными энергетическими характеристиками: теплотой и температурой горения. Доменного газа образуется на порядок больше остальных газов, он обладает наихудшими характеристиками и отличается нестабильностью горения [2].

В данной работе, по-видимому впервые, исследованы энергетические характеристики всех возможных парных смесей этих газов в диапазоне 0–100% и дана их графическая интерпретация.

Авторами проведены численные исследования энергетических характеристик парных смесей указанных газов и природного газа (на примере метана) в среде Маткад, с использованием термохимических характеристик индивидуальных веществ в составе газов — полных энтальпий компонентов с учетом теплоты образования, при сжигании с воздухом при температуре 298,15 К (термохимический «ноль») для топливной смеси и окислителя.

Установлено, что высшей температурой горения отличается конвертерный газ, а низшей — доменный газ. Таким образом, конвертерный газ в смеси с доменным, интенсивнее всего повышает его характеристики. На втором месте по интенсивности повышения характеристик доменного газа находятся смеси доменного и коксового газов.

Эффективность теплотехнологических процессов черной металлургии во многом определяется температурой горения топлива. Полученные результаты могут позволить подбирать наилучшие топливные смеси для конкретных процессов, а также повысить полноту их утилизации.

### **Литература**

1. **Сазанов Б.В.** Промышленные теплоэнергетические установки и системы / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 275 с.
2. **Papapetrou M.** Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country/ M. Papapetrou, G. Kosmadakis, A. Cipollina, et al. // Applied Thermal Engineering, № 138, 2018, pp. 207–216.

*Г.А. Тарасов, соиск; рук. Л.С. Яновский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕДИЦИНСКИХ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ**

Одним из предпочтительных методов обезвреживания медицинских и эпидемиологических опасных отходов является их термическая деструкция (сжигание, пиролиз, газификация и т.д.), которая обеспечивает выполнение всех требований документа. Для создания и эффективной эксплуатации таких установок необходимо иметь представление о средней теплотворной способности утилизируемых отходов.

Существующие методики определения теплотворной способности твердых бытовых отходов, основанные на взятии проб и определении среднего теплотехнического, элементного или морфологического состава, в случае с отходами классов Б и В невозможно ввиду их эпидемиологической опасности. Таким образом для проектирования и управления режимом работы установок термической деструкции медицинских отходов руководствуются средними величинами, что в условии переменного состава отходов ухудшает технико-экономические показатели агрегатов.

В работе для определения теплотворной способности медицинских отходов предлагается использовать открытую информацию о закупках одноразового медицинского оборудования лечебными учреждениями.

Проведен анализ закупок более 50 лечебных учреждений разного профиля. Показано, что закупки клиник одного профиля схожи. Так к примеру, установлено, что основную долю отходов туберкулезных учреждений будут составлять: марля, подкладки впитывающие, одноразовые халаты, респираторы, шприцы, подгузники, подкладки из спантекса, отходы пищеблока.

Представлена статистическая модель «мешка» с отходами, которая описывает ожидаемое статистическое распределение теплотворной способности 1 кг медицинских отходов в зависимости от типа лечебного учреждения.

Представлена методика определения средней ожидаемой теплотворной способности 1 кг отходов на модельном предприятии, которое перерабатывает отходы нескольких лечебных учреждений.

С помощью полученных данных можно проводить оценки теплотворной способности при проектировании, что позволит заранее предусмотреть ожидаемые режимы работы и повысить эффективность проектированных установок или скорректировать работу существующих.



*К.Р. Тухватуллина, студ.;*  
*рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОНВЕРСИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ УСТАНОВКЕ**

Проблема энергосбережения является актуальной в высокотемпературной теплотехнологии, в том числе в производстве тарного стекла. Существуют различные направления энергосбережения, одним из которых является термохимическая рекуперация (ТХР) тепловых отходов, базирующаяся на процессе конверсии природного газа. Данное направление основано на эндотермической переработке природного газа во вторичное топливо — синтез-газ — с использованием различных окислителей. Полученный синтез-газ применяется для отопления теплотехнологического реактора — стекловаренной печи.

Цель работы — исследование области энергоэффективного применения ТХР теплоты отходящих газов стекловаренной печи на основе конверсии природного газа рециркулирующими газовыми отходами.

Объектом исследования выбрана топливная стекловаренная установка для производства стеклотары производительностью 250 т/сутки. Базовый вариант установки — с термической рекуперацией (ТР) теплоты отходящих газов. Он включает теплотехнологический реактор — собственно ванную стекловаренную печь и рекуперативный подогреватель окислителя. Энергосберегающий вариант установки дополнительно оснащен реактором конверсии природного газа, благодаря чему реализуется ТХР.

Разработаны и реализованы математические модели обоих вариантов топливно-кислородной стекловаренной установки с ТР и ТХР. Построение математических моделей на уровне балансовых уравнений выполнено в среде Mathcad [1].

Исследуемые величины — видимый удельный расход топлива, суммарный удельный расход топлива. Варьируемые параметры — доля уходящих газов, подаваемых на конверсию, и доля кислорода в окислителе для сжигания топлива.

Установлена область значений варьируемых параметров, обеспечивающая энергосберегающий эффект.

Результаты исследований могут быть использованы при модернизации действующих и разработке новых энергосберегающих промышленных объектов энергетики теплотехнологии, в том числе с использованием термохимической рекуперации тепловых отходов на основе конверсии природного газа.

### **Литература**

1. **С.К. Попов, В.А. Ипполитов.** Решение задач высокотемпературной теплотехнологии в среде Mathcad. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 96 с.

М.С. Белов, студ.; А.Н. Бородин, студ.;  
рук. О.Б. Колибаба, доц., к.т.н. («ИГЭУ, Иваново»)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ОВОЩЕЙ

Утилизация просроченных продуктов — обязательное требование законодательства. Такие товары несут угрозу окружающей среде и здоровью людей. Наиболее распространенным способом утилизации «просрочки» является термическое обезвреживание. Для этого продукты помещаются в специальные печи — инсинераторы [1], в которых они термически обрабатываются до образования золы, которая может использоваться в качестве удобрения. Процесс осуществляется при температуре 1100°C. При этом влажность отходов не должна превышать 30%.

Большая часть просроченных продуктов, особенно овощей, имеет влажность порядка 80–90%. Поэтому их необходимо предварительно подсушить. Подсушка может быть организована дымовыми газами после инсинератора.

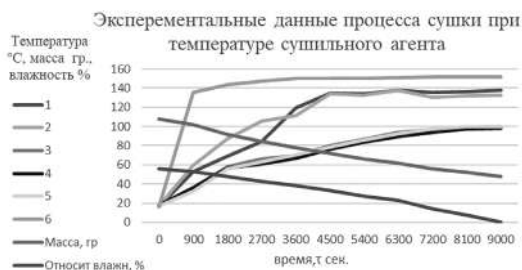


Рис. 1.

делялось его изменение массы. Затем проводился расчет влажности продукта. Результат эксперимента приведен на рис. 1, где показано: 1, 2 — термопара на поверхности исследуемого объекта; 3, 4 — термопара на расстоянии  $\frac{1}{2}$  радиуса исследуемого объекта; 5 — термопара в центре объекта; 6 — термопара в сушильном агенте.

Нами проведено экспериментальное исследование процесса сушки моркови в трех температурных режимах при температурах сушильного агента 100, 150, 200С, в результате которого получены температурные кривые процесса сушки. В зависимости от времени пребывания продукта в рабочей зоне установки определялось его изменение массы. Затем проводился расчет влажности продукта.

### Литература

1. Павлов Г.И., Кочергин А.В., Павлов А.Г. Патент РФ 150968 Инсинератор // Опубл.: 3.10.2015.

*А.А. Борисов, студ.; В.С. Королев, асп.;  
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

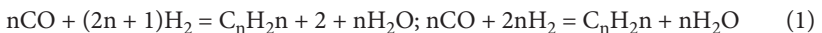
## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ ОТХОДОВ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ**

В работе рассматривается разработка технологической схемы и принцип использования газовых отходов конвертерного производства стали при использовании процесса энергохимической аккумуляции (ЭХА) для производства водородсодержащего газа для производства водорода [1] и рассматривается вариант производства жидкого синтетического топлива.

Энергохимическая аккумуляция — это процесс физико-химического взаимодействия высокотемпературных газовых отходов с природным газом или другими углеводородсодержащими веществами с целью превращения их в топливный газ широкого применения [2].

Целью данной работы является разработка технологической установки и ее математическое моделирование для производства водорода и получения синтетического топлива с использованием программных комплексов Aspen Hysys и Ansys Fluent.

Получение жидкого синтетического топлива основано на использовании каталитического реактора, где происходят реакции восстановительной олигомеризации оксида углерода:



Технической задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является использование  $\text{CO}_2$ , образовавшегося в ходе конвертерных процессов, для выработки жидкого синтетического топлива

В процессе реакций получается (получают) синтетическое жидкое топливо, основанное на синтезе углеводородов и монооксида углерода и водорода (процесс Фишера-Тропша).

Технический результат состоит в снижении прямых выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу при его использовании в процессе получения жидкого синтетического топлива и, как следствие, улучшение экологической обстановки металлопроизводящих регионов.

Работа выполнена в рамках проекта при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. секция «Водородная энергетика».

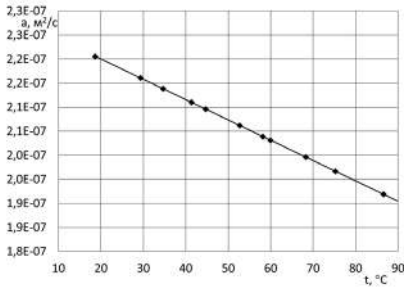
### **Литература**

1. **Патент на изобретение № 2637439 (РФ)**, МПК7 C21C5/38. Способ утилизации конвертерных газов для производства водорода / С.Н. Петин, А.В. Бурмакина, В.А. Ипполитов. — Заявлено 21.06.2016; опубл. 04.12.2017. Бюл. № 34.
2. **Попов С.К., Пегин С.Н., Бурмакина А.В., Стогов П.А.** Энергохимическая аккумуляция высокотемпературных газовых отходов // Теплоэнергетика. 2019. № 2. С. 51–62.

*Е.В. Кручина; рук. Д.А. Долинин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ

Для определения теплофизических свойств новых материалов актуально использовать метод обратной задачи теплопроводности (ОЗТ), не требующий знания параметров внешнего теплообмена. Сущность метода заключается в том, что образец нагревается произвольным, но монотонно меняющимся тепловым потоком. По экспериментально замеренным температурам поверхности и теплового центра образца и приближенно заданному значению коэффициента температуропроводности рассчитывается температурное поле неограниченной пластины. Полученные расчетом значения температур в центральной точке сравниваются с экспериментальными данными в этой же точке при условии минимизации среднеквадратичного отклонения расчета и эксперимента.



**Рис. 1.** Температурная зависимость коэффициента температуропроводности керамики, полученная обработкой экспериментальных данных методом ОЗТ

и эксперимента. В основу предлагаемого решения ОЗТ положен метод дискретного удовлетворения краевых условий (ДУКУ) [1].

В ходе эксперимента по нагреву образца модифицированной керамики фиксировали температуру в расчетных точках. Каждый эксперимент повторяли 5 раз. На рис. 1 показана полученная зависимость коэффициента температуропроводности от температуры, построенная по результатам обработки экспериментальных данных методом ОЗТ.

### Литература

1. **Крылова Л.С.** Проектирование и эксплуатация теплотехнологических установок кузнечно-термического производства машиностроительных заводов: Учебное пособие / Л.С. Крылова // Иваново, ИГЭУ. 2001. — 96 с.

С. Э. Шавадзе, студ.;  
рук. О. Б. Колибаба, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ПЕЧИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Термическая переработка твердых коммунальных отходов осуществляется чаще всего в специальных печах шахтного типа — термических реакторах, в которых слой ТКО последовательно проходит процессы сушки и пиролиза с последующей газификацией твердого углеродистого остатка [1, 2, 3]. Образующееся в процессе переработки газообразное топливо отводится потребителю.

Для выбора рационального режима работы печи актуальным является математическое моделирование процесса теплообмена в ее рабочем пространстве.

Нами разработана математическая модель шахтной печи для утилизации твердых коммунальных отходов методом пиролиза.

Модель реализована в программном комплексе ANSYS FLUENT.

Модель позволяет определить температурное поле материала и время его переработки в зависимости от расхода топлива на установку. Результаты моделирования при расходе газа 1200 кг/ч представлены на Рис. 1.

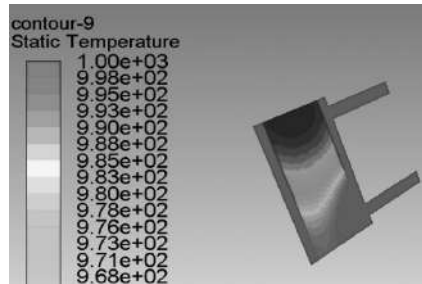


Рис. 1. Температурное поле в рабочем пространстве печи

### Литература

1. **Колибаба О.Б., Сокольский А.И., Габитов Р.Н.** Исследование сушки слоя твердых бытовых отходов в процессе термической переработки // Вестник Череповского Государственного Университета, начн. Журнал. — 2015 — № 3. — С. 21.
2. **Власов О.А., Мечев В.В.** Анализ работы сжигания отходов // Твердые бытовые отходы, Журнал. — 2017. — Т. 2. — С. 199–202.
3. **Горинов О.И., Колибаба О.Б., Долинин Д.А., Габитов Р.Н., Самышина О.В., Скворцов И.А.** Патент РФ № 2645029 Установка для термического разложения несортированных твердых органических отходов. Опубл.: 15.02.2018, Бюл. № 5.

*Д.Д. Голдобин, асп., А.А. Борисов, студ.,  
А.М. Михайлов доц. каф. ИТНО;  
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА МЕТОДОМ АВТОТЕРМИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА**

Направление развития водородной энергетики в РФ обусловлено крупными запасами природного газа, что позволяет диверсифицировать использование углеводородного топлива. Среди известных способов производства водорода из природного газа выделяют паровую конверсию и парциальное окисление природного газа, комбинирование которых позволит организовать процесс автотермического риформинга, который позволяет снизить затраты энергоресурсов на производство водорода с улавливанием парниковых газов [1–2].

Для внедрения производства водорода на базе автотермического риформинга на территории РФ необходима разработка отечественного оборудования, в том числе горелочного устройства на топливно-кислородном источнике энергии при подводе водяного пара. Такое горелочное устройство должно быть надежным, эффективным, дешёвым и масштабируемым для широкого диапазона производительности и других технологических параметров.

Для разработки такого оборудования применяется моделирование в современных математических и имитационных программных средах. Моделирование позволяет провести исследования различные конструкционных решений с последующей оценкой эффективности.

С целью определения кинетических, теплотехнических и конструктивных параметров, в работе предлагается модель горелочного устройства для производства водорода методом автотермического риформинга. Разработанная модель является средством определения достижимости целевых показателей предлагаемых конструкций горелочного устройства, а также позволит получить исходные данные для опытно-экспериментальных работ.

Работа выполнена в рамках проекта при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на 2022–2024 гг. секция «Водородная энергетика».

### **Литература**

1. Static Review of World Energy. — URL <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>.
2. **Khajasteh Salkuyeh Y., Saville B.A., MacLean H.L.** Techno-economic analysis and life cycle assessment of hydrogen production from natural gas using current and emerging technologies // Int. J. Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42, № 30. P. 18894–18909.

*И.А. Аминова, асп.; рук. Е.Г. Нешпоренко, к.т.н., доц.  
(МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ УГЛЕВОДОРОДОВ УСТАНОВОК, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РАСПЛАВЫ ЗА СЧЕТ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЕ**

Основными потребителями природного газа являются электроэнергетический и коммунально-бытовой сектор (77%), а также нефтехимическая и металлургическая промышленность (10%). В нефтехимической промышленности природный газ используется как ценное сырье для производства аммиака, метанола, ацетилена, азотных удобрений, ароматических углеводородов, технического углерода и широкой гаммы химических полупродуктов, синтез-газа.

Переработка природного газа с целью получения синтез-газа называется конверсией. Исследованы и применяются на практике следующие виды конверсии природного газа: паровая конверсия; углекислотная конверсия; высокотемпературная кислородная конверсия; каталитическая парокислородная конверсия в шахтных реакторах; каталитическая пароуглекислотная конверсия в трубчатых печах.

Для проведения конверсии природного газа необходимы затраты тепловой энергии для разложения углеводородов под действием температуры более 700°C при этом энергетическая эффективность остаётся на уровне 30%. Большая часть теплоты теряется в окружающую среду, поэтому вопрос поиска энергоэффективного теплотехнического принципа организации данного процесса и источника тепловой энергии является актуальным. В настоящее время в черной металлургии существуют процессы, в которых применяется принудительное охлаждение ограждающих поверхностей. В тепловом балансе таких агрегатов доля тепловых потерь через ограждение может достигать 15–70% с потерей высокотемпературного потенциала 1600°C в рабочем пространстве печи до 30–40°C в виде воды системы охлаждения.

В работе предлагается разработать метод использования теплоты, теряющейся через ограждения для осуществления процесса конверсии углеводородов, что особенно актуально для высокотемпературных установок.

### **Литература**

1. **Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В.** Горение и конверсия топлив в промышленных теплоэнергетических установках: учебное пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. 63 с.

*А.А. Чечушкин студ.; рук. С.В. Картавец, д.т.н., проф.  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск)*

## **РЕГЕНЕРАТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Конвертерный газ является одним из самых недооцененных ВЭРов металлургического производства. В данный момент в России на металлургических заводах конвертерный газ практически не утилизируется.

При регенеративном использовании ВЭР энергия ВЭР направляется на осуществление основных технологических процессов: подогрев исходного материала, подогрев компонентов горения. Энергосберегающий эффект достигается в данном технологическом агрегате за счет сокращения расхода топлива на процесс.

При регенеративном использовании конвертерного газа входящими в конвертер потоками являются жидкий чугун доменного производства, стальной лом, известь и кислород для продувки.

Нагрев лома до 500 °С позволит избежать образование окалины, а также снизить расход энергоемкого чугуна на плавку. Плавление металлического лома также позволит сократить содержание чугуна, участвующего в плавке, но требует больших энергетических затрат.

Обжиг извести конвертерными газами способствует сокращению потребления природного газа, снижению энергоемкости получаемой стали. Температура горения конвертерного газа превышает температуру горения природного газа. Следовательно, имеется возможность повышения температуры в зоне реакции, что повысит качество обжига.

Одним из теоретических направлений утилизации физического тепла конвертерных газов является подогрев кислорода. Теоретически данное мероприятие позволит изменить тепловой баланс плавки.

Таким образом утилизация конвертерного газа на металлургическом предприятии является одним из крупных резервов энергосбережения.

### **Литература**

1. **Картавец С.В.** Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА: Монография. — Магнитогорск, МГТУ, 2000. — 188 с.
2. **Чечушкин А.А.** Использование конвертерного газа в качестве топлива на металлургическом предприятии / А.А. Чечушкин, С.В. Картавец // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы 80-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 18–22 апреля 2022 года. Том 1. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. — С. 366.



**Секция 34**  
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**  
**Processes and apparatuses of industrial heat**  
**engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н. Горелов Михаил Валентинович*

*Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич*

*Д.В. Породовский, асп.; рук. С.В. Лукин, д.т.н., проф.  
(Череповецкий государственный университет, Череповец)*

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КАУПЕРА ПРИ СЖИГАНИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА**

В настоящее время конвертерный газ на металлургических заводах РФ в качестве топлива не используется, а сжигается в свечах после продувки конвертеров [1]. Однако на сегодняшний день, когда политика ведущих металлургических предприятий направлена на многократное использование промежуточных продуков, в том числе и вторичных энергоресурсов, проблема утилизации конвертерного газа становится всё более актуальной и требует решения.

Теплота сгорания конвертерного газа, образующегося в кислородно-конвертерном производстве металлургического комбината во время продувки конвертера, может быть использована для поочередного разогрева насадки двух регенераторов, построенных по типу кауперов доменных печей, и их поочередного охлаждения непрерывным потоком воздуха, подогреваемого до температуры 1200 °С. Нагретый воздух может быть использован в котле-утилизаторе для выработки пара энергетических параметров [2].

При исследовании нагрева одного канала насадки в качестве исходных данных были заданы геометрические параметры кауперов, использующихся в доменном производстве в настоящее время. На основании этих вводных была разработана математическая модель, позволяющая численно рассчитывать тепловое состояние керамической насадки регенеративных теплообменников, и температур греющих газов и нагреваемого воздуха в режимах разогрева и охлаждения регенераторов при переменном расходе греющих газов. Предварительные результаты построенной модели позволяют говорить о стабильной работе кауперов, когда продувка конвертеров идет поочередно и непрерывно.

### **Литература**

1. **Стародубцев П.Г.** Разработка энергетически эффективного способа утилизации конвертерного газа // Вестник науки и образования, 2018. № 5(41). С. 23–26.
2. **Лукин С.В., Шестаков Н.И., Породовский Д.В., Разинков А.А.** Моделирование тепловой работы регенеративного теплообменника для утилизации теплоты сжигания конвертерного газа // Металлург. 2022. № 7. С. 90–97.

*А.А. Завгородний, студ.; рук. Д.А. Коновалов, д.т.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»; ВГТУ, Воронеж)*

## **К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Развитие современных энергетических установок различного предметного назначения требует необходимости отвода высоких удельных тепловых потоков с одновременным снижением массогабаритных характеристик. Так, для современных радиоэлектронных устройств требуется отводить тепловые потоки до 400 Вт/см<sup>2</sup> [1]. Поэтому в основу технических решений для создания компактных теплообменников, закладывается применение различных способов интенсификации теплообмена.

В настоящей работе были рассмотрены такие способы интенсификации теплообмена при вынужденном однофазном течении теплоносителя в трубах круглого сечения как изменение микрорельефа поверхности (искусственная шероховатость, поперечные кольцевые гофры), искусственная турбулизация потока (спирально-навитые трубы), пористые и микроканальные вставки. Для оценки эффективности использования интенсификации теплоотдачи в теплообменном аппарате использовалась известная расчетная зависимость [2]

$$\eta = \left( \frac{Nu}{Nu_{г\text{л}}} \right) \left/ \left( \frac{\xi}{\xi_{г\text{л}}} \right) \right.,$$

где  $Nu_{г\text{л}}$  и  $Nu$  — значения критериев Нуссельта соответственно для гладкой трубы и для трубы с интенсификатором;  $\xi_{г\text{л}}$  и  $\xi$  — коэффициент гидравлического сопротивления для гладкой трубы и для трубы с интенсификатором.

В ходе исследования было установлено, что при определенных рабочих параметрах и геометрии канала в условиях вынужденного однофазного течения теплоносителя наибольшую эффективность теплообмена показала конфигурация трубы с поперечными кольцевыми гофрами (более чем в 2 раза), а также использование микроканальных и пористых вставок (в 1,6 раза). При этом использование спирально-навитых труб практически не дает эффекта.

### **Литература**

1. **Konvalov D.A., Ryazhskikh V.I., Lazarenko I.N. and Kozhukhov N.N.** Model of Cooling of Compact Surfaces by Microchannel Recuperative Heat Exchangers with a Matrix of Filamentary Silicon Single Crystals // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, March 2019, Volume 92, 2, pp. 371–380.
2. **Дзюбенко Б.В., Кузма-Кичта Ю.А., Леонтьев А.И., Федик И.И., Холпанов Л.П.** Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / Б.В. Дзюбенко, — Монография. — М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ». 2008. — 532 с.

*А.И. Кузьмин, студ.; рук. Е.П. Валеева, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРЕБРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ТЕПЛОТДАЧУ С ОРЕБРЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Исследование оребрения и влияния его параметров на эффективную теплоотдачу с оребренной поверхности с дальнейшим определением оптимальных значений этих параметров является важной задачей для многих отраслей промышленности и техники. В работе проведен анализ существующих технологий оребрения [1] и их основных характеристик.

Научная новизна работы заключается в том, что предложен новый подход к расчету теплопередачи от оребренной поверхности. Введено понятие эффективного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{эф}$ , получена зависимость  $\alpha_{эф}$  от безразмерных параметров: числа Био, относительных высоты и толщины ребра. Получено выражение для коэффициента эффективности одиночного ребра  $\eta_0$ , которое совпадает с зависимостью, приведенной в [2]. Зависимость отличается от формулы, обычно используемой для расчета  $\eta_0$ , поскольку последняя справедлива лишь для предельного случая теплоизолированного торца ребра.

Показано, что результаты расчета коэффициента теплоотдачи от оребренной поверхности по предложенным зависимостям и с использованием традиционного метода могут заметно различаться для относительно толстых ребер.

На основе анализа зависимости  $\alpha_{эф}$  определены оптимальные значения параметров оребрения с использованием реальных размерных величин, которые были взяты с сайта завода-изготовителя оребренных труб [3].

### **Литература**

1. **Афанасьева И.В.**, Существующие технологии оребрения труб // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1.
2. **Крейт Ф., Блэк У.**, Основы теплопередачи, 1983.
3. **Костромской калориферный завод.** <http://kkz.ru/produksiya/orebrennyetryby/bimetallicheskie-orebrennye-truby/>

*А.А. Воробьев, Д.С. Соколов, студенты;  
рук. Горелов М.В., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА КОНДЕНСАТА ПРИ РАБОТЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО УВЛАЖНИТЕЛЯ ВОЗДУХА

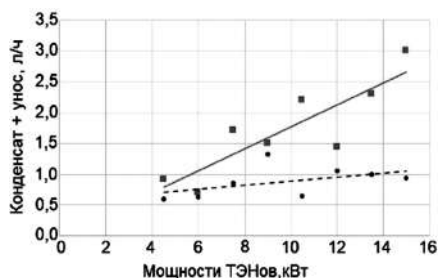
Поддержание требуемых параметров воздуха является важной задачей в различных технологических процессах. Для поддержания влажности в системах кондиционирования воздуха применяют аппараты увлажнения воздуха, которые основаны на адиабатическом и изотермическом увлажнении [1]. При работе изотермического увлажнителя воздуха в паропроводе происходит конденсация пара, которая приводит к потере паропроизводительности, тем самым снижая интенсивность увлажнения.

Цель работы — определение количеств конденсата при различных значениях паропроизводительности изотермического увлажнителя воздуха.

Объект исследования — изотермический пароувлажнитель с максимальной подводимой электрической мощностью для нагрева 15 кВт.

При проведении серии экспериментов на установке, с парораспределителем и без парораспределителя на конце паропровода, рассмотрены режимы работы при мощности ТЭНов от 30% до 100% от номинального значения. В результате опытов были получены значения объёмов жидкости, которые были уловлена на конце паропровода с парораспределителем и без парораспределителя. Анализ полученных данных, позволяет построить графическую зависимость, иллюстрирующую характер образования конденсата и уноса при повышении мощности ТЭНов. На рис. 1 представлены две прямые, характеризующие работу установки при наличии (сплошная линия) или отсутствии парораспределителя (пунктирная линия).

Количество жидкости с увеличением паропроизводительности аппарата увеличивался, причем при наличии парораспределителя объем жидкости был больше.



**Рис. 1.** Зависимость количества конденсата и уноса жидкости от мощности ТЭНов

### Литература

1. **Изелъ П.** Увлажнение воздуха. Системы и применение — Москва: Техносфера, Евроклимат, 2007. — 216 с. ISBN 978-5-94836-136-9

*Н.Р. Гайнуллина студ.; рук. Е.Г. Нешпоренко, к.т.н., доц.  
(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск)*

## **АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ВИДЕ САЖЕВОДОРОДНОЙ СМЕСИ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Разработка нового энергоэффективного и совершенствование действующего оборудования металлургического предприятия лежит в основе его инновационного развития. В настоящее время природный газ (ПГ) в металлургии в основном используется в качестве топлива для вытеснения части кокса из доменной печи при производстве чугуна с расходом по отрасли около 3170 тыс. тонн в год [1]. Металлургические процессы извлечения железа из руд в основном осуществляются путем неполного окисления углерода. По разным оценкам исследователей более 2/3 потенциала энергии ПГ при этом теряется.

Следует отметить, что природный газ, в некоторой степени, является транспортной формой чистого углерода и водорода, которые одновременно являются лучшими восстановителями железа. Однако, разрыв их связи в молекуле метана требует более 74,9 кДж/моль энергии с получением продукта в виде сажеводородной смеси (СВС) [2]. Таким образом, разработка энергоэффективного метода получения сажеводородной смеси является актуальной для вскрытия тех резервов экономии энергетических затрат, которые невозможно получить в классической аглококсодоменной технологии извлечения железа из руд.

В работе проведен сравнительный анализ энергетической эффективности и экономической целесообразности применения сажеводородной смеси, на металлургическом предприятии. Рассмотрены классические способы термического разложения природного газа, применяющиеся в нефтехимической промышленности, в технологии производства резины, пластмассы, водорода. Как правило, целевой составляющей обозначенных технологий является задача получения продукта, а энергетическая задача минимизации энергозатрат не ставится или решена частично. Поэтому задача поиска, разработки и исследования энергоэффективной теплотехнологической схемы процесса термического разложения ПГ с получением СВС, на базе металлургического предприятия является актуальной.

### **Литература**

1. **Картавец С.В.** Природный газ в восстановительной плавке. СВС и ЭХА: Монография. Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2000. 188 с.
2. **Нешпоренко Е.Г.** Анализ энергоёмкости процессов жидкофазного извлечения железа из руд // Энергетика теплотехнологий. 2018. № 1. С. 17–27.

А.Ю. Фомина, студ.; рук. А.Ю. Картель, к.т.н. (ЛГТУ, Липецк)

## ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ ТУРБОДЕТАНДЕРА НА ЦИКЛ СХЕМЫ ЧАСТИЧНОГО СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В современном мире, трендом которого является повсеместный отказ от углеводородов, природный газ имеет особое место [1]. Поэтому все технологии, связанные с добычей, обработкой и транспортировкой природного газа, еще долго будут востребованы, а вопросы их исследования и модернизации актуальными.

Целью данной работы является сравнение цикла «традиционной» схемы сжижения и схемы с турбодетандером. В схеме [2] меняем дросселирующее устройство на турбодетандер.

Изменившийся в результате установки детандера цикл, позволяет установить дополнительный предварительный теплообменник-вымораживатель, который снизит нагрузку на блок осушки и снизит капитальные и эксплуатационные затраты.

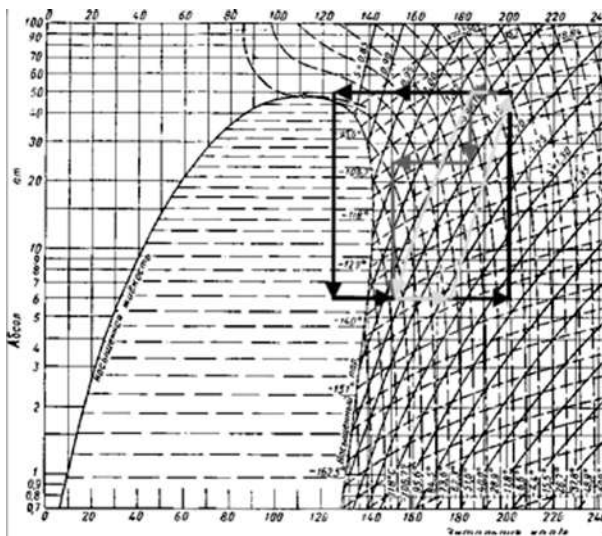


Рис. 1. Циклы сжижения природного газа на диаграмме  $\lg p$ - $i$ . Технологический поток (серый), производственный поток (темно-серый), цикл с детандером (светло-серый)

### Литература

1. Аметистова Л.Е. Экологические аспекты СПГ-проектов в арктических условиях / Л.Е. Аметистова, А.Ю. Книжников // — М: Всемирный фонд дикой природы. — 2016. — 48 с.
2. Пат. 122757 Российская Федерация, МПК F 25 J 1/00. Установка частичного сжижения газа; Газпром ВНИИГАЗ<sup>®</sup>. — № 2012113643/28; заявл. 06.04.2012; опубл. 10.12.2012; бюл. № 34. — 15 с.

*И.И. Светушков, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ им. В.И. Ленина, г. Иваново)*

## **ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА МИКРОКЛИМАТА В ГЛАВНОМ КОРПУСЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Оптимизация тепловоздушного режима в главном корпусе тепловой электрической станции (ТЭС) позволяет организовать требуемые по нормативным документам параметры микроклимата в производственных помещениях и экономить энергетические ресурсы на собственные нужды за счет организации свободного движения воздуха в главном корпусе и нанесения экономически целесообразной изоляции в целях снижения тепловых потерь от энергетического оборудования и через ограждения главного корпуса [1, 2]. В настоящее время расчет аэрации и отопления производственных помещений тепловых станций выполняют на этапе проектирования станций по нормативным документам [3]. Анализ литературных источников, например [1, 4], показывает, что действительные отклонения параметров тепловоздушной среды производственных зданий ТЭС от нормативных значений является распространённым явлением в современной энергетике. Проблемы некачественной аэрации в главных корпусах тепловых станций приводят к увеличению энергетических затрат на собственные нужды станции и ухудшению самочувствия персонала цехов.

Выводы.

1. Анализ литературы показывает, что разработка методики расчёта оптимального тепловоздушного режима в главном корпусе ТЭС при котором энергетические затраты на отопление и вентиляцию будут минимальны, а параметры микроклимата находиться в пределах нормативных значений актуальна и востребована.
2. Новая методика расчета аэрации и принудительной вентиляции в производственных помещениях станции должна быть построена на основе математического моделирования сопряженного теплообмена и реализована в среде современных ПК.

### **Литература**

1. **Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Гильмутдинов А.Ю.** Совершенствование системы тепловоздушноснабжения главного корпуса ТЭС на основе математического моделирования // Вестник ИГЭУ. — 2011. — №. 1. — С. 4–7.
2. **Белов М.А., Ледуховский Г.В., Копсов А.Я.** Нормирование затрат тепловой энергии на отопление и вентиляцию главного корпуса блочной ТЭС // Энергия-2021. — 2021. — Т. 1. — С. 13.
3. **РД 34.21.401-90** Методические указания по испытанию и наладке тепловоздушного режима главных корпусов ТЭС // 1991.
4. **Кислицына В.В., Могуз И.Ю., Шгайгер В.А.** Особенности микроклимата на рабочих местах работников топливно-энергетического комплекса // Инновационная наука. — 2016. — № 6–3. — С. 188–189.



А.А. Кобзева, асп.; А.А. Добринская, студ.;  
рук. В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБЛИЖЕНИЯ ХАРПЕРА-БРАУНА В РАСЧЕТЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА, ИСХОДЯЩЕГО ОТ ПРЯМОГОЛЬНОГО РЕБРА ВО ВНЕШНЮЮ СРЕДУ

Согласно работам Д. Керна, А. Крауса [1] и Ф. Крейта, У. Блэка [2] величину теплового потока  $Q$ , исходящего от прямоугольного ребра в окружающую среду можно с минимальной погрешностью определить с помощью приближения Харпера-Брауна. Суть этого приема заключается в том, что расчет потока от ребра с не теплоизолированной вершиной заменяется на поток от ребра с теплоизолированной вершиной, если площадь теплообмена 1-го ребра равна площади теплообмена 2-го ребра. Математическая запись этого условия имеет следующий вид (1):

$$h' \cdot \Pi = h'' \cdot \Pi + \delta \cdot L = > h' = h'' + \delta \cdot L / \Pi,$$

где  $\Pi = 2 \cdot (\delta + L)$  — периметр поперечного сечения ребра, м;  $\delta$  и  $L$  — толщина и длина ребра, м;  $h'$  и  $h''$  — высоты ребер с теплоизолированной (ТИВ) и не теплоизолированной (НТИВ) вершинами, соответственно.

Задача исследований заключалась в оценке погрешности  $\delta Q$ , которая возникает при использовании приближения Харпера-Брауна по отношению к прямоугольному ребру, материалоемкость (кг) которого остается неизменной при вариации его высоты.

Результат исследований представлен на рисунке 1. Из графика видно, что при неизменной массе (кг) прямоугольного ребра или площади его профиля ( $m^2$ ) приближение Харпера-Брауна дает значительную погрешность при малых высотах ребра, т.е. в зоне локального минимума теплового потока, исходящего от ребра в окружающую среду.

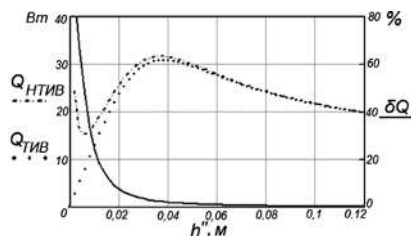


Рис. 1. Зависимость тепловых потоков  $Q$  от высоты прямоугольных ребер НТИВ и ТИВ, и относительная погрешность  $\delta Q$  приближения Харпера-Брауна

### Литература

1. Д. Керн, А. Краус. Развитие поверхности теплообмена. Пер. с англ. М., «Энергия», 1977.
2. Ф. Крейт, У. Блэк. Основы теплопередачи. М., «Мир», 1983.

И.О. Одинцов, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ МЕЖДУ ДВУМЯ ПЛАСТИНАМИ

Целью работы является численное моделирование процесса естественной конвекции между двумя пластинами при равных температурах стенок в диапазоне от 30 до 100, получение профиля скорости в выходном сечении, а также зависимости скорости от температуры стенки.

Задача решалась в двумерной постановке.

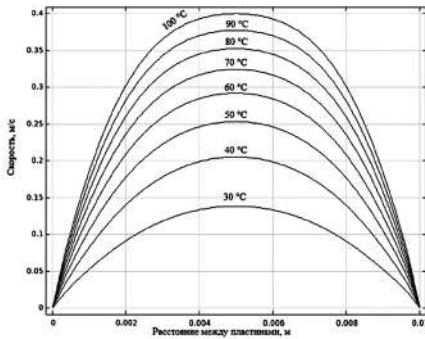


Рис. 1. Распределение скорости в выходном сечении

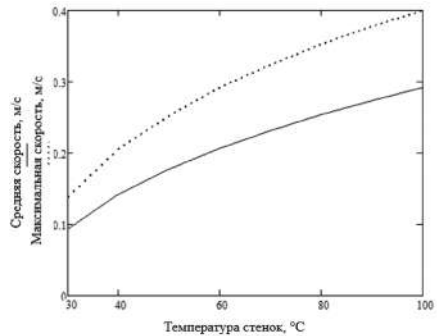


Рис. 2. Зависимость максимальной и средней скорости от температуры стенки

Геометрические параметры: высота стенки 10 см, расстояние между стенками 1 см. На стенках пластин заданы граничные условия первого рода с постоянной и одинаковой температурой по всей поверхности, которая изменялась от 30 до 100 с шагом в 10. На входе и выходе воздуха задано граничное условие «открытой границы», которое поддерживает условие как притока, так и оттока жидкости. Температура воздуха на входе равна 20. Режим течения — ламинарный. Моделирование проводилось с разными размерами сеток, причем размеры ячеек второй сетки были в 4 раза меньше первой. В результате были получены идентичные решения, что говорит о том, что сетка была выбрана и составлена верно. Полученные результаты представлены на рис. 1 и рис. 2 и совпадают с ранее полученными аналитическими результатами [1]. Они будут использованы для экспериментальной проверки математической модели.

### Литература

1. В.И. Терехов, А. Л. Экаид, Х. Яссин. Ламинарная свободная конвекция между изотермическими вертикальными пластинами при вариации их высоты и числа Релея / 15 Минский международный форум по тепло- и массообмену: тез. докл. и сообщ.,— Минск, 2016. — Т. 1. — С. 217–220.

**Секция 35**  
**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**  
**И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ**  
**Energy saving and industrial ecology**

---

*Председатель секции: к.т.н., с.н.с. Яковлев Игорь Васильевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Пурдин Михаил Сергеевич*

А.О. Кривоноженкова, студ.;  
рук. И.В. Яковлев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Целью работы является обоснование выбора теплового насоса типа «воздух — вода» в автономной системе теплоснабжения жилого здания при минимальных энергозатратах. Для этого ставилась задача исследования влияния номинальной теплопроизводительности тепловых насосов «воздух — вода» на потребление электрической энергии при заданной тепловой нагрузке по теплоснабжению.

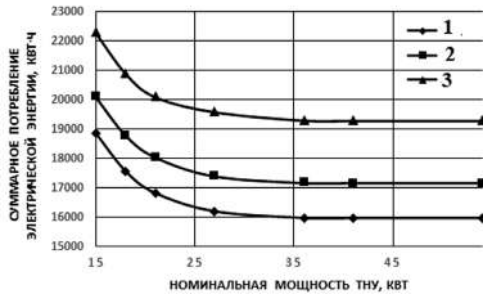


Рис. 1. График зависимости суммарного потребления электрической энергии от номинальной мощности теплового насоса для климатических условий г. Калининграда. Расчетная тепловая нагрузка по теплоснабжению 21 кВт. Температура воды (°C): 1 — 50, 2 — 55, 3 — 60

графика числа часов стояния средних температур из заданных температурных интервалов. Расчеты выполнены для различных климатических районов. Пример расчета для автономной системы теплоснабжения, расположенной в г. Калининграде с расчетной нагрузкой 21 кВт приводится на рис. 1.

Видно, что при номинальной мощности теплового насоса, превышающей расчетную нагрузку, более чем в полтора раза, потребление электрической энергии будет минимальным. Затраты энергии при автономном и централизованном теплоснабжении будут сопоставимы при соотношении номинальной и расчетной мощности примерно 1,2, это было показано отдельным расчетом.

Рассматривались ситуации: вся нагрузка восполняется тепловым насосом; часть нагрузки восполняется тепловым насосом, а другая дополнительным источником — электрическим котлом. Рассчитывалось суммарное потребление электрической энергии автономной системой теплоснабжения, включая тепловой насос и электрический котёл. Расчеты проводились по заданной нагрузке по теплоснабжению с учетом обобщенных характеристик тепловых насосов и климатических условий района строительства здания — фактического

И.А. Степанов, студ.; рук. И.В. Яковлев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА И ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы разработка методики моделирования системы из грунтового теплообменника и теплового насоса для автономного теплоснабжения зданий.

В работе представлены методика моделирования совместной работы вертикального грунтового теплообменника и теплового насоса типа «антифриз вода» и результаты расчета тепловой мощности, передаваемой тепловым насосом в систему теплоснабжения, в зависимости от влияющих факторов: температуры грунта, глубины заложения, конструктивных размеров теплообменника и коэффициента трансформации теплового насоса. Исследуемая система состоит из теплового насоса (ТН), нескольких вертикальных грунтовых теплообменников (ВГТО) и циркуляционного контура с промежуточным теплоносителем — антифризом для передачи тепла от ВГТО к ТН.

Математическая модель системы с сосредоточенными параметрами включает уравнения, описывающие перенос и передачу тепла в контуре с промежуточным теплоносителем, грунтовом теплообменнике и испарителе теплового насоса, термодинамические уравнения описания цикла парокомпрессионного теплового насоса. Замыкающие систему уравнения представляют известные зависимости для коэффициентов теплоотдачи и температуры грунта на различной глубине заложения грунтовых теплообменников (рис. 1).

Система уравнений решалась численным методом в предположении о постоянстве температуры поверхности скважины с грунтовым теплообменником. Хотя температура грунта на глубине заложения более 20 м остается практически постоянной (рис. 1), в реальных процессах с течением времени имеет место охлаждение грунта и грунтовой теплообменник работает в нестационарном режиме.

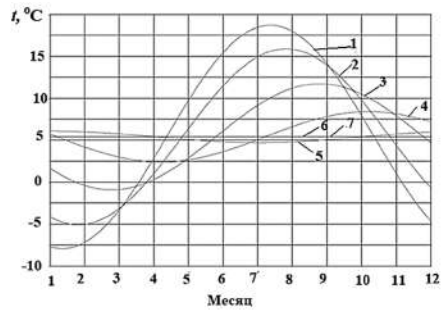


Рис. 1. График изменения годовой температуры воздуха и грунта на различной глубине в г. Москве. 1 — температура воздуха; температура грунта на глубине, м: 2 — 1,6; 3 — 5; 4 — 10; 5 — 20; 6 — 50; 7 — 100

*Н.В. Авдокунин, аспирант;  
рук. И.В. Яковлев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В климатических условиях России большую часть года оборудование центров обработки данных (ЦОД) может охлаждаться вентиляционным воздухом (фрикулинг). Для всех типов ИТ-оборудования оптимальный диапазон температур воздуха составляет 18–27°C. Принимая температуру приточного воздуха равной 18°C, а температуру удаляемого — 27°C, можно выделить три режима воздухообмена. Первый режим, при котором температура наружного воздуха ниже 18°C, требует подогрева приточного воздуха путем частичной рециркуляции удаляемого воздуха из машинного зала. Во втором режиме, при котором температура наружного воздуха изменяется в пределах от 18 до 27°C, система работает как прямоточная, необходимое количество теплоты удаляется путем регулирования расхода приточного воздуха. При температуре наружного воздуха выше 27°C требуется охлаждение приточного воздуха до 18°C при постоянном расходе.

Предложена схема утилизационной установки, в которой удаляемый воздух разделяется на два потока. Часть утилизируемой теплоты будет использоваться на внутренние нужды ЦОД, а именно на подогрев наружного воздуха до требуемой температуры. Другая часть утилизируемой теплоты будет использоваться на нужды теплоснабжения внешних потребителей. Потенциал этой части утилизируемой теплоты повышается с применением теплового насоса типа «антифриз-вода» с промежуточным гидравлическим контуром, в котором циркулирует антифриз между теплообменником-утилизатором и испарителем теплового насоса.

Энергетическая эффективность использования извлекаемой теплоты оценивается как экономия тепловой энергии внешним потребителем за вычетом потребленной электрической энергии тепловым насосом. При внешнем потреблении извлекаемой сбросной теплоты ЦОД экономия тепловой энергии равна количеству энергии, передаваемой внешнему потребителю за год.

На основе балансовых уравнений для основных элементов установки получены расчетные зависимости для количества теплоты, передаваемой потребителю, и удельной экономии условного топлива на источнике тепловой энергии в зависимости от характеристик и параметров оборудования. В частности, показано, что положительный эффект от применения сбросной теплоты будет иметь место при коэффициенте трансформации теплового насоса более 2,7.

*Е.А. Морозов, студ.; рук. Е.П. Валужева, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТОЛЩИНА СЛОЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФАЗОИЗМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Решение задачи о фазовом переходе (задачи Стефана) является важным для многих отраслей промышленности и техники, о чем свидетельствуют многочисленные научные работы, посвященные данной тематике.

В работе проведена классификация имеющихся методов решения задачи о фазовом переходе (задача Стефана). Автомодельный метод был использован Стефаном [1]. Метод «ловли фронта в узел сетки» предложен в работах известных советских математиков Ф.П. Васильева [2]. Метод сквозного счета (эффективной теплоемкости) был почти одновременно предложен в 1964 г. Б.М. Будаком [3] и А.А. Самарским [4]. «3-х зонный метод» использовался в работе [5].

Проведены расчеты изменения температуры по толщине слоя ФИМ в зависимости от времени в течение суток. Применен аналитический автомодельный метод. Выбраны два часто используемых в строительстве материала: ФИМ-I — парафин, ФИМ-II — соль фосфид калия, применяемых для снижения суточных колебаний температуры в помещениях.

Найдены оптимальные значения слоя ФИМ, при которых за половину суток заканчиваются процессы фазового перехода (затвердевания и плавления). Для ФИМ-I это значение ниже, чем для ФИМ-II, поэтому выбор парафинов в качестве ФИМ для повышения качества теплоизоляции может оказаться экономически более выгодным по сравнению с другими материалами.

### **Литература**

1. **Stefan J.** Über die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung in Polarmeere // Ann. Phys. u. Chem. 1891. P. 269–286.
2. **Васильев Ф.П.** Разностный метод решения задачи типа Стефана для квазилинейного параболического уравнения с разрывными коэффициентами // ДАН СССР. 1964. Т. 157. № 3. С. 1280–1283.
3. **Будак Б.М., Соловьёва Е.Н., Успенский А.Б.** Разностный метод со сглаживанием коэффициентов для решения задач Стефана // Журнал вычислительная математика и математической физики. 1965. Т. 5. № 5. С. 828–840.
4. **Самарский А.А.** Теория разностных схем // М.: Изд-во «Наука», 1977. 657 с.
5. **Sharifi N.P., Shaikh A.A.N., Sakulich A.R.** Application of phase change materials in gypsum boards to meet building energy conservation goals // Energy Build. 2017. P. 455–467.

А.А. Воробьев, А.А. Никаева, студенты;  
рук. Горелов М.В., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ТЕПЛОВАЯ АККУМУЛЯЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ

Теплоаккумулирующая способность здания — способность накапливать теплоту внутри ограждающих конструкций, мебели и других объектов, находящихся внутри помещения. Для оценки теплоаккумулирующей способности используют «коэффициент тепловой аккумуляции здания» [1].

Цель работы — моделирование процесса остывания внутреннего воздуха помещения при частичном прекращении подачи теплоносителя в систему отопления.

Объект исследований — современный панельный жилой МКД распространенной типовой серии.

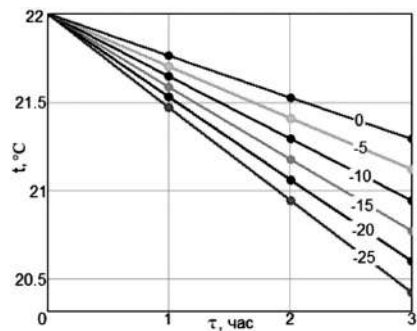


Рис. 1. Изменение температуры внутреннего воздуха

помещении верхнего этажа — оно составит  $1,5^{\circ}\text{C}$ , что входит в предел допустимых значений. Изменение температуры внутреннего воздуха в течение трех часов с момента начала режима недогрева при различных температурах наружного воздуха представлено на рис. 1.

Таким образом, при частичном прекращении подачи теплоты в систему отопления, наблюдается незначительное снижение температуры внутреннего воздуха, условия проживания остаются комфортными.

### Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов — 9-е изд., стереот. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 472 с.



*С.С. Черников, студ., М.А. Лемешко, к.т.н.,  
рук. С.В. Картавцев, д.т.н., профессор  
(МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЁ РАБОТЫ**

В настоящее время промышленные печи, в том числе оборудованные системами испарительного охлаждения (СИО), работают с весьма низким термическим КПД, величина которого в производственных условиях чаще всего не превышает 20–30%, что приводит к повышенному расходу топлива, чаще всего — внешнего, природного газа. Поэтому исследование возможностей сокращения его закупа является актуальной задачей.

В тепловой схеме печи предусмотрено последовательно: нагрев стальных заготовок в рабочем пространстве печи, подогрев воздуха на горение и на остаточной теплоте продуктов сгорания — производство водяного пара в котле-утилизаторе. Произведенный пар, в том числе и СИО, подается во внешнюю сеть паропроводов и покидает энергетическую систему нагревательной печи, что снижает ее эффективность и фиксирует повышенный расход топлива на процесс.

В работе исследуются возможности повышения энергетической эффективности процессов нагрева стали перед прокаткой путем изменения ее тепловой схемы.

Анализ действующей тепловой схемы показывает, что эффективность тепловой схемы можно повысить, если пар СИО может быть сохранен для нагревательной печи. Для этого его необходимо сконденсировать и направить вновь в СИО, а теплоту его использовать для дополнительного подогрева воздуха на горение.

В этом случае часть теплоты первичного топлива возвращается в печь, что сокращает расход топлива на процесс и повышает его энергетическую эффективность, а также сокращается расход энергии на циркуляцию питательной воды для СИО.

### **Литература**

1. **Дзюзер В.Я.** Теплотехника и тепловая работа печей: учеб. пособие. 2-е изд. СПб.: Лань, 2016. 384 с.
2. **Ганул А.О., Мордовкин Д.С.** Снижение энергозатрат в нагревательных печах прокатных станов // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. X междунар. науч.-практ. конф. № 1(10). — Новосибирск: СибАК, 2018. — С. 98–104.

Р.К. Магомедова, студ.;  
рук. Е.В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АМПЛИТУДА УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОЛУОГРАНИЧЕННЫХ ТЕЛАХ ПРИ КОЛЕБЛЮЩЕМСЯ ГРАНИЧНОМ УСЛОВИИ

Аккумуляция энергии у потребителя позволяет снизить неравномерность нагрузки на источник, уменьшить его установленную мощность и цену выработанной энергии. Аккумуляторы теплоты применимы, например, для повышения маневренности атомных станций [1]. В последнее время активно ведется исследование теплообмена в аккумуляторах теплоты, что показано в работах [2–4].

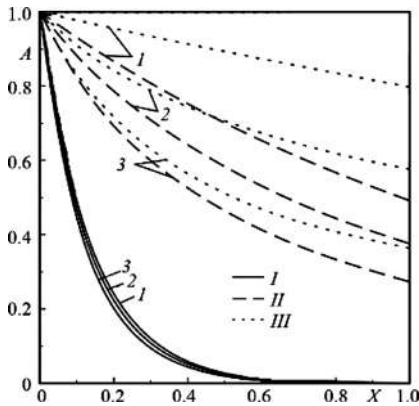


Рис. 1. Относительная амплитуда колебаний температуры. 1 —  $k = 0$ , 2 — 1, 3 — 2; I —  $Fo = 0,01$ , II — 1, III — 10

При числах  $Fo > 0,01$ , для цилиндрической и сферической систем координат значения амплитуды  $A$  меньше, чем для прямоугольной. При  $Fo \rightarrow 0$  амплитуды близки.

В данной работе получена относительная амплитуда  $A$  установившихся колебаний температуры в полуограниченном теле (см. рис. 1) в зависимости от безразмерной координаты  $X = (x - r)/r$ , фактора формы  $k$  и числа Фурье  $Fo = a/\omega r^2$ , где  $x$  и  $r$  — координата и характерный радиус внутреннего граничного условия,  $m$ ;  $\omega$  — круговая частота,  $s^{-1}$ ;  $a$  — коэффициент температуропроводности,  $m^2/s$ . В координате  $r$  задан гармонический закон колебаний температуры для 1 гармоника. Фактор формы  $k = 0$  соответствует прямоугольной системе координат,  $k = 1$  — цилиндрической и  $k = 2$  — сферической. Из рисунка следует, что с распространением от источника колебаний амплитуда асимптотически уменьшается.

### Литература

1. Аминов Р.З. Применение многофункциональных систем с тепловыми аккумуляторами фазового перехода как путь повышения безопасности и эффективности АЭС // Теплоэнергетика, 2022, № 8, с. 5–13.
2. Пурдин М.С., Гаряев А.Б. Численное моделирование естественной аккумуляции теплоты в грунте при сезонном промерзании // Промышленная энергетика, 2021, № 7, с. 34–42.
3. Пурдин М.С., Гончарова Е.П., Тукбаев Н.Э. Аналитическое решение задачи о теплообмене в верхних слоях грунта без фазовых переходов // 28-я МНТК студентов и аспирантов «РЭЭ»: Тез. докл., М.: «Радуга», 2022. С. 526.
4. Пурдин М.С., Тукбаев Н.Э., Герасимов И.А. Исследование коэффициента аккумуляции твердого изолированного цилиндрического аккумулятора теплоты // XI ЭТиП, Сб. докл., М.: «Радуга», 2022, с. 120–123.

Р.К. Магомедова, студ.;  
рук. Е.В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИЗОЛИРОВАННОМ АККУМУЛЯТОРЕ ТЕПЛОТЫ

Для повышения эффективности тепловых и электрических станций могут быть использованы аккумуляторы теплоты [1]. Грунт — доступный твердый теплоаккумулирующий материал с низкой ценой устройства теплообменной поверхности. Ряд работ показывают возможность его использования для аккумуляции теплоты [2–4] и его тепловые характеристики.

На рис. 1 представлено изменение относительной амплитуды  $A$  колебаний температуры в изолированном аккумуляторе теплоты в зависимости от безразмерной координаты  $X = (x - r)/r$ , фактора формы  $k$  и числа Фурье  $Fo = a/\omega r^2$ , где  $x$  и  $r$  — координата и характерный радиус внутреннего граничного условия,  $m$ ;  $\omega$  — круговая частота,  $c^{-1}$ ;  $a$  — коэффициент теплопроводности,  $m^2/c$ . В координате  $r$  задан гармонический закон колебаний температуры для 1 гармоника. Фактор формы  $k = 0$  соответствует прямо-угольной системе координат,  $k = 1$  — цилиндрической и  $k = 2$  — сферической. Полученные распределения амплитуды могут быть использованы для исследования процессов аккумуляции теплоты в твердых телах.

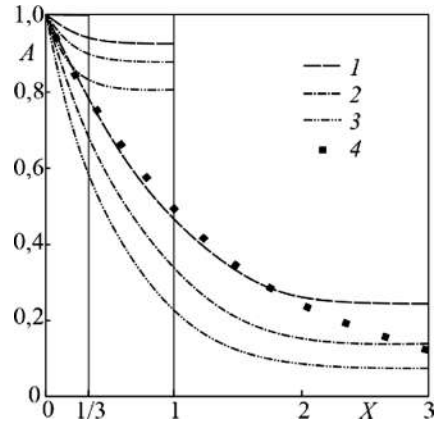


Рис. 1. Амплитуда колебаний безразмерной температуры при  $Fo = 1$ . 1 —  $k = 0$ , 2 —  $k = 1$ , 3 —  $k = 2$ , 4 — аналит. реш. полуогран. задачи при  $k = 0$

### Литература

1. Aminov R.Z., Yurin V.E., Murtazov M.A. Increasing NPP Maneuverability on the Basis of Heat Accumulation System and Additional Multifunctional Steam Turbine // FarEastCon, 2018, pp. 1–5.
2. Пурдин М.С., Павлова Е.А., Николаева А.Н., Муртазин Р.Э. Моделирование установившегося теплообмена в цилиндрическом однофазном аккумуляторе теплоты при колеблющемся граничном условии первого рода // “Энергосбережение — теория и практика”, 2020, с. 82–87.
3. Пурдин М.С., Гаряев А.Б. Численное моделирование естественной аккумуляции теплоты в грунте при сезонном промерзании // Промышленная энергетика, 2021, № 7, с. 34–42.
4. Пурдин М.С., Цепляева Е.П. Определение значения коэффициента эффективной теплопроводности грунта в пассивном эксперименте // Промышленная энергетика, 2022, № 11, с. 50–57.

*Р.К. Магомедова, студ.;  
рук. Е.В. Цепляева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ГРУНТОВОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТЫ**

Применение грунтовых аккумуляторов теплоты [1] может приводить к прогреву грунта вокруг них, когда необходимо аккумулировать теплоту на температурных уровнях выше среднегодовой температуры, и к охлаждению грунта, когда грунтовые теплообменники применяются для отбора теплоты из грунта. Возникает тепловой поток от условной поверхности аккумулятора или скважины к поверхности грунта, который приводит к появлению поля перегретого или переохлажденного грунта. При проектировании грунтовых теплообменников часто пренебрегают расчетом теплового потока, а его значение принимают по эмпирическим данным. Однако его величина зависит от температур грунтового теплообменника и окружающей среды, а также количества отбираемой теплоты.

Процесс отбора и возврата теплоты в грунт является периодическим с периодом от нескольких минут до года. В общем случае теплообмен в грунте является колеблющимся процессом с множеством гармоник. В работах [2–3] показано, что в грунтах, состоящих из мелких песков, супесей и глин, движение грунтовых вод не приводит к значительному влиянию на теплообмен, а уравнение теплопередачи может быть представлено в виде линейного и параболического дифференциального уравнения для твердого тела. В таком случае справедливо применение принципа суперпозиции температурных полей. Решение задачи о теплообмене в таком грунте может быть представлено в виде суммы нескольких решений для различных гармоник и стационарного решения. Стационарное решение представляет наибольший интерес, так как определяет основное направление и интегральную во времени величину теплового потока.

В настоящей работе исследуются результаты численного решения задачи о тепловых потерях от грунтовых аккумуляторов теплоты. Получены зависимости величины тепловых потерь от числа Био  $Bi$  и относительной глубины грунтового теплообменника или аккумулятора теплоты.

### **Литература**

1. Пурдин М.С., Павлова Е.А., Николаева А.Н., Муртазин Р.Э. Моделирование установившегося теплообмена в цилиндрическом однофазном аккумуляторе теплоты при колеблющемся граничном условии первого рода // «Энергосбережение — теория и практика», 2020, с. 82–87.
2. Пурдин М.С., Гаряев А.Б. Численное моделирование естественной аккумуляции теплоты в грунте при сезонном промерзании // Промышленная энергетика, 2021, № 7, с. 34–42.
3. Пурдин М.С., Цепляева Е.П. Определение значения коэффициента эффективной температуропроводности грунта в пассивном эксперименте // Промышленная энергетика, 2022, № 11, с. 50–57.

*Г.И. Парфенов, асп.; М.О. Абышкин, студ.;  
рук-ли В.В. Тютиков, д.т.н., проф.;  
Н.Н. Смирнов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ БЛОК С ТЕПЛООТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ**

Среди всех ограждающих конструкций зданий наименьшим сопротивлением теплопередаче обладают оконные блоки. Это приводит к наибольшим тепловым трансмиссионным потерям через данный вид конструкций и значительным затратам ТЭР на поддержание нормируемых параметров микроклимата в помещении. Учеными ИГЭУ были разработаны и изучены энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции с теплоотражающими экранами [1], позволяющими существенно снизить трансмиссионные теплопотери. К сожалению, в работе [1] при моделировании теплопередачи через светопрозрачную конструкцию был рассмотрен только стеклопакет с экранами без учета теплофизических процессов, происходящих в краевых зонах стеклопакета, в раме, а также в областях примыкания оконного блока к световому проему. Следовательно, устранение вышеуказанных недостатков является актуальной задачей при изучении эффективности применения экранов в светопрозрачных конструкциях.

С помощью метода конечных элементов были разработаны двухмерные имитационные модели процесса теплопередачи через оконный блок с теплоотражающими экранами, размещенный в стене климатической камеры, разделяющей теплое и холодное отделения. Математическое описание включает уравнение неизотермического ламинарного движения несжимаемого вязкого газа, уравнения неразрывности, переноса энергии. При реализации математических моделей в качестве метода расчета радиационного теплопереноса был принят метод дискретных ординат.

Оконный блок представляет из себя двухкамерный стеклопакет, размещенный в деревянной раме. Рассматривались варианты использования со стороны холодного отделения камеры одного, двух и трех теплоотражающих экранов, выполненных из полированного алюминия.

В результате моделирования были получены поля температур, скоростей, тепловых потоков. Были определены значения приведенного сопротивления теплопередаче конструкции. Верификация разработанных имитационных моделей была произведена путем сравнения расчетных данных с результатами испытаний исследуемых конструкций, проведенных в климатической камере АНО «Ива-новостройиспытания».

### **Литература**

1. **Смирнов Н.Н.** Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис.... канд. техн. наук: 05.14.04. Иваново, 2022.

*Д.И. Менделеев, соиск.;*  
*рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н., проф. (КТЭЦ-2, г. Казань)*

## **К ВОПРОСУ ЭКОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАБОТУ ОБОРУДОВАНИЯ**

Вопросы влияния на экологию с каждым годом обсуждаются все больше. На предприятиях актуально применение новых технологий, установка специального оборудования для снижения выбросов. Это позволяет избежать высоких штрафов за воздействие на окружающую среду. Однако, при экологических замерах и проб воздуха ситуация в целом не улучшается, а вопросов к производству все больше.

Рост населения планеты вкупе с растущим уровнем благосостояния создает одну из главных проблем современности — рост объема производимых нами отходов.

Промышленные предприятия все больше пытаются внедрять инновационные технологии для уменьшения влияния на окружающую среду, например, переход на парогазовые установки, которые в частности сами зависят от внешних условий. [1] Однако, даже при больших объемах производства их негативный вклад порой оказывается меньше, чем от жизни людей — поездки на автомобиле, сжигание мусора и отходов. Поэтому необходимо подходить к вопросу экологии со всех сторон. Газовые турбины в основной массе работают на природном газе, поэтому при их эксплуатации легко контролировать и выделять CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> из отработавших газов, по сравнению с другими видами топлива. Улавливание двуокиси углерода — это ключевая стратегия в достижении целей по снижению эмиссии CO<sub>2</sub>. Перспективным направлением является использование водорода в качестве топлива для энергетических установок, так как при его сжигании выбросы будут минимальны.

Повышение экологической безопасности производства тепловой и электрической энергии в настоящее время является центральной и для её достижения перспективно применение гибридных технологий производства энергии в различных отраслях производства продукции.

### **Литература**

1. **Менделеев, Д.И.** Исследование влияния абсорбционной холодильной машины на режимы работы парогазовой установки / Д.И. Менделеев, Ю.Я. Галицкий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2019. — Т. 11. — № 4(44). — С. 37–46.

Д.В. Рязанцева, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ В ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКЕ

Тепловые насосы являются хорошей альтернативой для систем индивидуального теплоснабжения в России в случаях, когда отсутствует газовое топливо. Важной характеристикой тепловых насосов является коэффициент трансформации теплоты, который равен отношению полученной (отданной потребителю) тепловой мощности к затраченной электрической мощности на привод компрессора:

$$\mu = Q_{\text{ТНУ}} / P_{\text{к}}$$

Чем выше его значение, тем больше эффективность установки.

Коэффициент трансформации теплоты зависит от целого ряда факторов, таких как: температура низкопотенциального источника; вид рабочего тела; температуры его конденсации и испарения; внутренний адиабатный КПД компрессора и др.

Были проведены расчёты значений коэффициента трансформации теплоты для трёх типов хладагентов — фреонов R12 и R22 и озонобезопасного фреона R134a при постоянной температуре испарения —  $t_{\text{и}} = 2^{\circ}\text{C}$  и температуре конденсации  $t_{\text{к}}$ , изменяющейся в пределах от  $42^{\circ}\text{C}$  до  $69^{\circ}\text{C}$ . При разнице температур выше  $(t_{\text{к}} - t_{\text{и}}) = 56^{\circ}\text{C}$  значения  $\mu$  примерно одинаковы для каждого из хладагентов, поэтому можно применять любой из них. При разнице температур ниже  $56^{\circ}\text{C}$  самыми высокими теоретическими значениями  $\mu$  обладает R22. Данная разница объясняется различиями в кривых насыщения рабочих тел в T-s-диаграмме. Каждый из фреонов имеет свою температуру в критической точке и свою теплоту парообразования. Были рассчитаны именно теоретические значения коэффициентов трансформации теплоты. Данные значения будут отличаться от реальных значений, достижимых на практике.

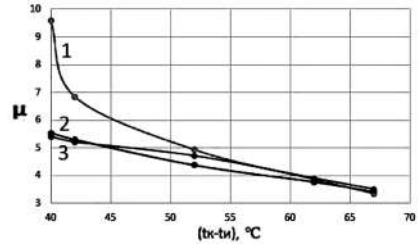


Рис. 1. График зависимости коэффициента трансформации теплоты от разности температур конденсации и испарения для фреонов R22(1), R12(2), R134a(3)

А.А. Пилипенко, студ., рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЁТ ВЛИЯНИЯ ПАДАЮЩЕГО РАДИАЦИОННОГО ПОТОКА НА ТЕМПЕРАТУРУ В САЛОНЕ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

В летнее время наблюдается повышенная солнечная радиация и высокая температура окружающего воздуха. Вследствие формируется ряд негативных факторов: перерасход энергии автомобилями, негативное влияние на здоровье людей, загрязнение окружающей среды, однако наличие зеленых насаждений существенно улучшает ситуацию.

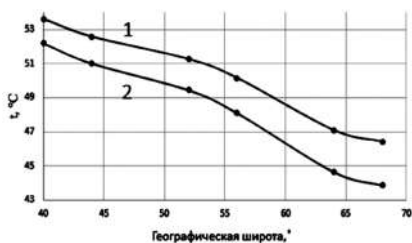


Рис. 1. Зависимость температур кузова (1) и салона (2) от географической широты

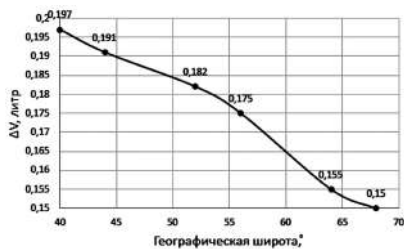


Рис. 2. Экономия топлива на разной географической широте

Расчёт был выполнен на основе математической модели для оценки влияния деревьев на потребление энергии автомобилями, разработанной на кафедре ТМПУ. Сначала рассматривался автомобиль, находящийся на солнце, затем — в тени деревьев. В программе вычисляются температуры поверхности кузова и внутри салона при разном падающем радиационном потоке от солнца в зависимости от различной географической широты при отсутствии деревьев. Так, результаты расчётов были отображены на графиках, которые показали, что с увеличением широты в сторону северного полюса температуры кузова и салона уменьшались.

Затем производилась оценка снижения затрат топлива на кондиционирование с наличием и без зелёных насаждений. При изменении географической широты результаты расчётов показали следующее: с увеличением широты экономия топлива уменьшается. Это говорит о том, что, чем севернее расположен город, тем меньше солнечных лучей будет нагревать поверхность автомобиля, и тем меньше температуры кузова и салона, а значит меньше экономия топлива.

Ранее данная модель рассматривалась, в прошлом докладе, где мы проводили расчёты влияния ветра, геометрических характеристик деревьев, а также температуры наружного воздуха.



**Секция 36**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЕ**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**  
**Industrial heat power engineering systems**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Яворовский Юрий Викторович*

*Секретарь секции: к.т.н. Жигулина Екатерина Валериевна*

*Е.В. Улинская, студ.;*  
*рук. И.М. Бернадинер, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННОЙ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ Г. УЛЬЯНОВСКА**

В работе мы рассмотрим процесс получения энергии от сжигания твёрдых коммунальных отходов (ТКО) и применение полученной энергии для теплоснабжения города Ульяновска.

В Ульяновской области, как и в России в целом, остро стоит проблема утилизации твёрдых коммунальных отходов. Одним из основных способов утилизации отходов являются мусорные полигоны. По состоянию на октябрь 2019 года в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО) включены 18 объектов, в том числе 9 полигонов для захоронения ТКО [1]. Свалки Ульяновской области представляют серьезную угрозу для окружающей среды, так как отходы слабо изолированы и оказывают на неё прямое воздействие.

Отличительной чертой ТКО является то, что они содержат высокий процент горючих компонентов, содержащейся в таких фракциях как резина, бумага, дерево и т. д. Сжигание бытового мусора, помимо снижения объема и массы, позволяет получать дополнительные энергетические ресурсы, которые могут быть использованы для централизованного отопления и производства электроэнергии.

В работе выполнены расчётные исследования процесса сжигания отходов. Был выполнен пересчёт морфологического состава твердых коммунальных отходов для г. Ульяновск. Проведено расчётное исследование горения твердых коммунальных отходов. В своей работе я буду рассматривать ТЭЦ-1 города Ульяновск. Исследуется вопрос возможности перевода котельных агрегатов ТЭЦ-1 на используемые твердые коммунальные отходы в качестве топлива. Тепло, отводимое от котельного агрегата, можно использовать для теплофикации, производства пара, выработки электроэнергии.

### **Литература**

1. Территориальная схема обращения с отходами Ульяновской области [Электронный ресурс] URL: [http://www.mpr73.ru/sup\\_activities/terrshema/](http://www.mpr73.ru/sup_activities/terrshema/).

*А.Д. Михеева, студ.;*  
*рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. кафедры ПТС (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ МУСОРОСЖИГАНИЯ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА**

Проблема утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) преследует человечество на протяжении всего его существования и с каждым годом лишь обостряется. На данный момент самым распространенным способом утилизации ТКО является их вывоз на мусорные полигоны или свалки, в Тольятти таких насчитывается около 11 [1]. Это не самый лучший способ борьбы с ТКО, так как полигоны занимают огромные площади (250 га земель) и пагубно влияют на экологию [1].

Морфологический состав ТКО города: бумага — 38,6%; пищевые отходы — 27,9%; текстиль — 1,5%; дерево — 2,1%; полимеры — 15,1%; кожа/резина — 1,2%; прочие отходы — 8,2%; стекло, металл — 5,4% [1]. Динамика роста объёмов ТКО составляет 1,7% в год. На сегодняшний день, количество отсортированного и переработанного стекла, металла, бумаги и полимеров составляет всего 35%. Исходя из вышеупомянутых фактов, становится понятно — ситуация обостряется с каждым годом и требует незамедлительного решения.

Наиболее доступным и эффективным методом является сжигание ТКО, используя данный способ утилизации можно получить дополнительный источник энергии, который может быть использован на нужды населения, например, теплоснабжения. Также это может быть выгодно экономически и экологически, так как позволит сократить затраты на добычу органического топлива и уменьшить вред, наносимый окружающей среде при захоронении ТКО на полигонах/свалках [2].

В работе мы рассмотрим возможность перевода ТЭЦ ПАО «Т Плюс» на сжигание ТКО и способы использования энергии мусоросжигания на нужды теплоснабжения города Тольятти.

Также рассматриваются преимущества и недостатки данного способа утилизации ТКО, сравнение с другими методами, перспективы использования.

### **Литература**

1. **Администрация городского округа Тольятти** [Электронный ресурс] URL: <https://tgl.ru/>
2. **Студенческая библиотека** [Электронный ресурс] URL: <https://students-library.com/library/read/3981-polucenie-teploty-pri-sziganii-tverdyh-bytovyh-othodov>

*Е.Б. Колисенко, студ.;*  
*рук. А.В. Рыженков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ИХ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

На 2022 год в России одной из приоритетных задач развития энергетики является повышение технического уровня систем теплоснабжения. Одним из перспективных методов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения является метод, основанный на применении гидрофобных функциональных поверхностях. Одним из перспективных методов повышения энергоэффективности систем теплоснабжения является метод, основанный на применении гидрофобных функциональных поверхностях, формируемых с использованием лазера. Для определения влияния модификации функциональной поверхности на термогидродинамические характеристики модернизирован и запущен в эксплуатацию экспериментальный стенд, представляющий собой теплообменный аппарат секционного типа «труба в трубе». В результате модификации поверхностей конструкционных материалов с использованием лазерного оборудования на поверхности создаётся микро/нано-масштабный рельеф (шероховатость). Для того, чтобы снизить поверхностную энергию, на поверхность наносится поверхностно-активное вещество (ПАВ) из класса пленкообразующих алифатических аминов  $C_{16}-C_{20}$ , которое формирует молекулярные слои октадециламина (ОДА) на модифицированных поверхностях [1].

В результате работы исследовано влияние модификации поверхностей различных конструкционных материалов на условия смачиваемости, а также на теплообменные и гидравлические характеристики поверхности. Стоит отметить, что предварительные исследования показывают положительное влияние на указанные параметры.

### **Литература**

1. Ryzhenkov A.V., Dasaev M.R., Grigoriev S.V., Kurshakov A.V., Ryzhenkov O.V., Lukin M.V. Hydrophobic brass surfaces created by means of multi-scale relief // International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9 (58–70), P. 58–70.

*С.И. Столбунов, студ.,  
рук. С.В. Григорьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ СКВАЖИН ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА**

Геотермальная энергия является возобновляемым энергетическим ресурсом, который на данный момент представляет собой перспективную альтернативу различным ископаемым источникам энергии. Эффективными установками, позволяющими использовать энергию недр земли в целях тепло- и холодоснабжения современных общественных, жилых, административных зданий, являются геотермальные тепловые насосы.

В настоящей работе объектом исследования является тепловой насос «жидкость — жидкость», расположенный в г. Москве, тепловой мощностью 13 кВт и геотермальное поле, состоящее из 4-х скважин диаметром 0,15 м и глубиной 60 м, 60 м, 48 м и 28 м. Основным фактором, влияющим на эффективность геотермального теплового насоса, является снижение температуры околоскважинного объема грунта, характеризующееся распространением радиуса температурного влияния — расстоянием от стенки скважины на котором температура недр соответствует начальному естественному значению.

С использованием экспериментальных данных были получены зависимости изменения температуры грунта около геотермальных скважин за отопительный период с ноября 2020 г. по апрель 2021 г., а также за летний период с июня 2021 г. по август 2021 г. Для оценки радиусов температурного влияния скважин использовалась методика, основанная на постановке задачи о неограниченном полом цилиндре [1].

По полученным результатам были определены значения радиусов температурного влияния скважин. При непрерывной работе теплового насоса на отопление и ГВС после отопительного периода радиус достигает отметки 12,5 м. При работе на систему ГВС в конце летнего периода радиус температурного влияния составил 13,9 м. Таким образом в течение следующего отопительного периода эффективность работы теплонасосной установки будет ниже вследствие изменения начальной температуры околоскважинных пород земли. Решение указанной проблемы возможно за счет восстановления температурного потенциала недр, которое возможно реализовать, например, при использовании аккумулированного холода в летний период времени.

### **Литература**

1. **А.В. Лыков.** Теория теплопроводности. УДК — 536.2, 1967.

*А.А. Гетто, студент;  
рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Бесконечный рост потребления энергии при ограниченных природных ресурсах — одна из основных проблем современной энергетики. Всё чаще поднимается вопрос о переводе традиционных источников энергии на альтернативный вариант — возобновляемые источники энергии: энергия ветра, гидроэнергия, гелиоэнергетика, геотермальная энергия.

Одной из возможностей снизить потребление традиционных источников энергии является использование грунтовых тепловых насосов в системах теплоснабжения [1]. При этом такие насосы могут быть использованы также и для кондиционирования в летний период года. Важной задачей является снижение затрат на эксплуатацию тепловых насосов на основе максимально полезного его использования.

Известной проблемой при эксплуатации грунтовых тепловых насосов является захлаживание грунта. Предлагается снижать воздействие этого фактора за счет прогрева скважин в летний период, что позволит повысить общую эффективность за счет увеличения температуры грунта в зимний период и организации процесса кондиционирования в летний.

В процессе работы планируется получить данные о количестве тепла, отданного в грунт в летний период, и количестве тепла, которое можно полезно использовать в зимний с учетом рассеивания.

### **Литература**

1. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. М.: Издательство МЭИ, 2001.

*А.Г. Звончевский, асп.;*  
*рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ МОДЕРНИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В докладе рассматриваются наиболее распространенные технологии производства комплексных минеральных удобрений (МУ) на предмет их совершенствования, анализируются их технологические узлы и предлагаются возможные решения, позволяющие повысить показатели энергетической эффективности. В работе [1] отмечается, что производства МУ характеризуется низкими показателями эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и высокими энергетическими потерями, которые могут быть устранены за счет утилизации теплоты вторичных энергоресурсов (ВЭР). В качестве основных источников теплотерь, объединяющих различные технологии производства МУ, являются системы нейтрализации и сушки, а в качестве тепловых ВЭР, как правило, выступают соковый пар и парогазовая смесь (ПГС). Проблема утилизации теплоты технологических газов свойственна предприятиям, входящим в систему энерготехнологического комплекса производства МУ, где особенно важно реализовывать энергетический потенциал ВЭР для внутретехнологических нужд с целью повышения показателей энергоэффективности и экологической безопасности.

Для системы сушки одной технологической ветки производства МУ рассчитаны наиболее эффективные схемы для утилизации теплоты запыленной ПГС. Целесообразность и перспективность предлагаемых решений обосновывается сравнительным анализом технико-экономических показателей, входящих в состав разработанных решений. Так, при реализации эффективной системы пылеулавливания перед теплообменным аппаратом, предназначенным для подогрева воздуха, который используется в качестве сушильного агента, экономический эффект составит около 45 млн. руб., при этом дисконтированный период окупаемости составит 8,5 лет. На основе проведенного анализа технологий производства МУ и полученных расчетных данных, рассматривается возможность интеграции разработанного способа утилизации ПГС в структурные подразделения отрасли МУ.

### **Литература**

1. **Шелгинский А.Я.** Повышение энергетической эффективности производства аммофоса на основе утилизации теплоты запыленных газов / А.Я. Шелгинский, А.Г. Звончевский // *Промышленная энергетика.* — 2022. — № 6. — С. 23–30.

*Н.Л. Бударин, асп.; рук. Е.В. Жигулина, к.т.н., доц.;  
В.Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЁТ ИСПАРИТЕЛЬНОГО СКРУББЕРА В СХЕМЕ ГУБТ С СУХОЙ ОЧИСТКОЙ ДОМЕННОГО ГАЗА**

Одним из крупнейших вторичных энергетических ресурсов на предприятиях чёрной металлургии является потенциальная энергия доменного газа, которая наиболее эффективно может быть использована в специальных газовых утилизационных бескомпрессорных турбинах (ГУБТ) для выработки электроэнергии, где сжатый доменный газ служит рабочим телом. Для обеспечения нормальной работы турбины без отложений пыли в ее проточной части газ должен быть очищен до 5–7 мг/нм<sup>3</sup>, что достигается в так называемых «мокрых» схемах очистки, включающих в себя охладительный скруббер и трубы Вентури, в которых доменный газ охлаждается до расчётной температуры 40 °С. В состав данных схем входит водооборотный цикл со сложным и дорогим шламовым хозяйством, при этом расход охлаждающей воды очень большой и составляет 5–7 кг воды/кг сухого газа [1].

Как показали расчёты, требуемая степень очистки может быть достигнута в «сухой» схеме, состоящей из циклона, рукавного фильтра или электрофильтра [2]. Данная схема также предполагает установку скруббера перед турбиной, в котором доменный газ испарительно охлаждался бы до температур, не превышающих допустимые значения для трубопроводов доменного газа (70 °С), но со значительно меньшим расходом охлаждающей воды по сравнению с мокрой схемой очистки. При этом охлаждённый доменный газ в процессе расширения в турбине переходил бы из влажного состояния в насыщенное и далее расширялся бы с конденсацией паров воды.

Авторами предложена схема установки ГУБТ с повышенной температурой насыщенного доменного газа перед турбиной и сокращённым расходом охлаждающей воды в скруббер. Было проведено расчётное исследование испарительного скруббера и получены зависимости расхода охлаждающей воды и геометрического размера аппарата от температуры, давления, влагосодержания доменного газа, коэффициента теплообмена и плотности орошения.

### **Литература**

1. **Сазанов Б.В.** Доменные газотурбинные установки / Б.В. Сазанов; — Москва: Изд-во Металлургия, 1965. — 263 с.
2. **Бударин Н.Л., Хромченков В.Г., Жигулина Е.В.** Анализ эффективности сухой очистки доменного газа перед его использованием в газовой утилизационной бескомпрессорной турбине / Промышленная энергетика. 2022. № 7. С. 18–25.



*Е.А. Шелгинский, асп.;*  
*рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ СЖАТОГО ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ**

Повышение энергоэффективности промышленных предприятий является одной из ключевых задач по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Одним из направлений по повышению энергоэффективности производства является использование вторичных энергоресурсов (ВЭР).

В данной работе рассмотрен способ утилизации теплоты сжатого воздуха для выработки дополнительной электроэнергии в установке, работающей на основе органического цикла Ренкина (ОЦР) в производстве неконцентрированной азотной кислоты.

В [1] рассмотрено использование теплоты сжатого воздуха для производства электроэнергии в установке, работающей на основе ОЦР. При этом происходит сокращение использования продукционного пара, имеющего давление 1,4 МПа и температуру 230 °С.

В данной работе предлагается использовать освободившийся продукционный пар для выработки электроэнергии в дополнительной расширительной машине, которая входит в состав установки, работающей на основе ОЦР (Система № 2).

Предлагаемое схемное решение позволяет получить электроэнергии на 459 360 кВт·ч/год больше, чем может быть получено при использовании схемного решения (Система № 1), указанного в [1]. Однако, при этом происходит уменьшение количества утилизированной тепловой энергии, полученной за счет охлаждения газа в конденсаторе ОЦР посредством водооборотного цикла.

### **Утилизация тепловой энергии в рассматриваемых системах**

<b>Базовая система</b>	<b>Система № 1</b>	<b>Система № 2</b>
Потери теплоты, ГДж/год	Утилизация теплоты, ГДж/год	
104 832,4	104 832,4	38 969,7

### **Литература**

1. Шелгинский Е.А., Яворовский Ю.В., Шелгинский А.Я. Анализ эффективности использования ВЭР на основе органического цикла Ренкина в производстве азотной кислоты // Научно-технический журнал «Надежность и безопасность энергетики», Том 15, № 2, Научно-производственное объединение «Энергобезопасность», Москва, 2022, С. 90–95.

*В.Ю. Чайкин, Ц. Цэрэндорж, аспиранты; Н.А. Белехова, студ.;  
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОДЗЕМНОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Актуальность исследования работы подземного аккумулятора тепла связана с тем, что использование тепла зависит от времени года. В летние месяцы существует избыток тепла, а в зимние его недостаток. Целью работы является исследование режимов работы подземного аккумулятора тепловой энергии. Это позволит использовать ее для накопления тепла от солнца летом и использование его в период отопления.

При внедрении нового оборудования и технологий первым этапом является исследование и расчет работы существующей системы. В рамках исследования работы подземного аккумулятора тепловой энергии было произведено моделирование в программе TRNSYS. Итогами расчетов стали график температуры в течение года и количество тепла от солнца.

Для исследования правильности методик расчета были проведены испытания на реальном объекте. Тепловой аккумулятор был подключен к системе теплоснабжения энергоэффективного дома. На данном объекте уже используется современное энергоэффективное оборудование и программные комплексы мониторинга параметров работы системы теплоснабжения. С целью сбора параметров тепловых потоков был использован дополнительный узел контроля с тепловычислителем. Использование единой системы мониторинга ПолиТЭР позволило получить новые данные о совместной работе всех систем.

Всего было рассчитано четыре режима работы аккумулятора. Весенний режим, при котором энергия от наземных солнечных коллекторов передается в дом, а излишки энергии направляются в подземный аккумулятор. Летний режим предполагает под собой полную передачу всей энергии от солнечных панелей в подземную емкость. В осеннем режиме солнечные коллектора могут использоваться как для нагрева подземного аккумулятора, так и для подачи тепла напрямую в дом. В осенне-зимнем режиме начинается забор тепла из подземного аккумулятора напрямую в системы дома. Это происходит до достижения температуры в емкости в 22 градуса. Далее следует зимний режим. Он отличается от осенне-зимнего тем, что используется тепловой насос для отбора тепла из аккумулятора.

Таким образом была разработана и испытана система сезонного аккумулирования тепловой энергии от солнечных коллекторов в подземной емкости. Также были проведены расчётные исследования. Установлена система мониторинга, которая подтвердила эффективность сезонного аккумулирования тепловой энергии.

*В.Д. Алексеева, И.Г. Леонов, С.В. Полканов, студенты;  
рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЭР В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ЗДАНИЙ**

Использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) при теплоснабжении зданий достаточно широко распространено на данный момент. Многие специалисты интересуются этим направлением в связи с тем, что вопрос окупаемости и адекватности примененных технологических мероприятий актуален на всех этапах, а именно: при создании, эксплуатации и ликвидации какого-либо здания.

В работе рассмотрены характерные особенности ВЭР, перечислены области применения в зависимости от конкретного вида энергоресурса, а также определены факторы, влияющие на определение энергетической эффективности при их использовании. Приведены некоторые схемы применения ВЭР при теплоснабжении зданий, их характерные особенности, достоинства и недостатки.

В результате исследования рассмотрены различные схемные решения при утилизации теплоты и алгоритм расчёта технико-экономических показателей предприятия при использовании ВЭР.

### **Литература**

1. **Сазанов Б.В., Ситас В.И.** Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: учебное пособие для вузов. Москва: Издательство Энергоатомиздат, 1990. — 304.
2. **Электронный ресурс:** <https://www.c-o-k.ru/articles/utilizaciya-teploty-vybrosnogo-vozduha-1>

*В.Д. Алексеева, И.Г. Леонов, С.В. Полканов, студенты;  
рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОЗДАНИЕ СМАРТ-СИСТЕМ В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ**

Актуальность развития смарт-систем возникает с многозадачностью тепловых систем, с методами регулирования тепловых потоков и возникновением новых стандартов потребления.

В настоящий момент смарт-система подразумевается как совокупный комплекс, в котором происходит, как правило дистанционное управление объектами системы (рис. 1) для снижения (экономии) энергетических ресурсов. Само понятие смарт-система включает в себя не только энергоэффективное использование энергетических ресурсов, а также создание грамотной и надежной технологической базы, методов, отвечающих параметрам тех предприятий, где будет происходить непосредственное ее внедрение.



**Рис. 1.** Возможности потребителя в энергетической смарт-системе

Предпосылка развития смарт-систем закреплена в Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, где в качестве главных стратегических ориентиров долгосрочной энергетической политики являются:

- экологическая безопасность;
- экономическая эффективность тепло- и электроэнергетики;
- энергетическая безопасность.

### **Литература**

1. Интеллектуальные сети (Smart Grid) и энергоэффективность // Материалы конференции компании General Electric. — Москва, 11 февраля 2010 года.
2. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года».

*С.В. Полканов, В.Д. Алексеева, И.Г. Леонов, студенты;  
рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ "МЭИ")*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЭ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Главная задача энергетики — это удовлетворение потребностей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Наибольший интерес вызывают именно такие районы, которые удалены от централизованных систем теплоснабжения. Запасы углеводородных ресурсов, рост энергопотребления и экологическая безопасность, всё это требует увеличения эффективности зданий. Решение данных проблем может быть найдено с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Была предложена следующая система теплоснабжения (СТС), сформированная из четырёх подсистем: преобразование ветровой энергии в тепловую и передача ее в теплоаккумулятор объемным насосом, установленным на валу ветроколеса (подсистема генерации теплоты); преобразование солнечной энергии в тепловую и теплоотведение от гелиоколлекторов в нижерасположенный теплоаккумулятор с помощью обратного термосифона (подсистема генерации теплоты); гравитационная система отопления здания с дублирующим источником теплоты (подсистема теплопотребления); подсистема аккумулирования теплоты.

В ходе работы было выявлено, что комплексное использование ВИЭ в теплоснабжении зданий имеет перспективы по увеличению энергоэффективности зданий.

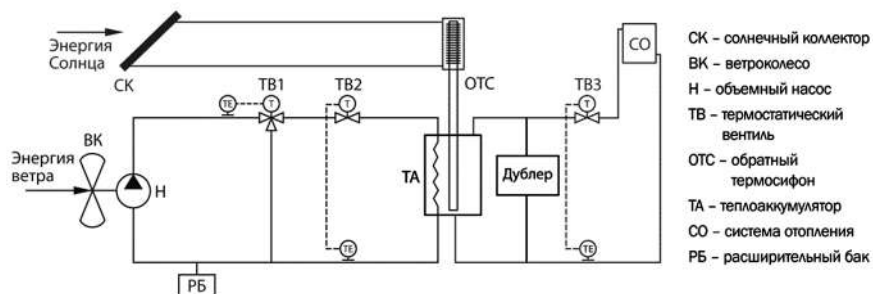


Рис. 1. Принципиальная схема ветро-солнечной СТС

### Литература

1. **Фатеев Е.М.** Ветродвигатели и ветроустановки. М., 1948.
2. **Велькин В.И., Щелоков Я.М., Щеклеин С.Е.** Возобновляемая энергетика и энергосбережение / под общ. ред. В.И. Велькина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. 312 с.
3. **Слесаренко И.В.** Совершенствование систем теплоснабжения с солнечными водонагревательными установками (на примере Дальневосточного региона): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Илья Вячеславович Слесаренко. СПб., 2016. 201 с.

*С.Е. Петрова, М.Р. Атауллин, студ.;*  
*рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **О СПОСОБЕ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ КОРРОЗИИ**

Россия по праву считается одной из самых холодных стран мира, что объясняет тот факт, что протяженность тепловых сетей в стране составляет более 170 тысяч км. Несмотря на всю свою обширность и развитость, система теплоснабжения имеет большое количество проблем [1]. Одной из таких проблем является коррозионный износ.

Коррозия — это самопроизвольное разрушение металлов и сплавов в результате химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Коррозия в трубопроводах систем теплоснабжения возникает в результате окисления поверхности металла при воздействии воздуха и воды [2]. Так как практически все системы теплоснабжения страны являются водяными, то актуальность данного вопроса не вызывает сомнений.

На данный момент существует достаточно много способов борьбы с коррозионным износом не только в системах теплоснабжения, но и в других отраслях промышленности. Поскольку многие из них требуют серьезных изменений конструкции или состава металла, а также изменения свойств среды, то наиболее распространенными являются способы, основанные на ингибировании среды. Однако, и они не лишены недостатков.

В настоящей работе будет подробно рассмотрен один из перспективных методов борьбы с коррозией — формирование покрытия с использованием хемосорбции [3]. Необходимо отметить, что предварительные исследования показали хорошие результаты, изучение данного направления было решено продолжить и провести комплекс экспериментальных исследований. По результатам работы предполагается сформировать ряд рекомендаций по применению данного способа защиты от коррозии, а также сделать экономическое обоснование использования данного метода.

### **Литература**

1. **Гашо Е.Г.** На пороге новой отрасли // *Новости теплоснабжения*. 2013. № 9. С. 23–26.
2. **М. Йовчев.** Коррозия теплоэнергетического и ядерно-энергетического оборудования: научное издание / Под ред. П.А. Акользина. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 223 с.
3. **А.Н. Кукушкин, В.Н. Виноградов, А.В. Михайлов, Э. Чемпик.** Механизм коррозионной защиты теплоэнергетического оборудования с использованием микродобавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) // *Энергосбережение и водоподготовка*. — 2009. — № 3(59). — С. 29–31. — EDN KTOGZF.

*М.Р. Атауллин, С.Е. Петрова, студ.;*  
*рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Россия является самой холодной страной в мире, поэтому одной из важнейших задач является обеспечение объектов инфраструктуры теплоснабжением. Надёжная работа систем теплоснабжения имеет большое народно-хозяйственное значение, так как от неё в значительной степени зависит создание комфортных условий жизни человека. Важным элементом систем теплоснабжения является теплообменный аппарат.

Стремление интенсифицировать процессы конвективного теплообмена и создать наиболее технологичные и экономичные теплообменные аппараты привело в последние годы к быстрому совершенствованию конструкций теплообменных аппаратов. Наиболее прогрессивными в настоящее время являются пластинчатые и пластинчато-ребристые теплообменные аппараты. Их узлы и детали полностью унифицированы, а основные рабочие части изготавливают штамповкой и сваркой [1]. Таким образом, создается возможность экономичного массового производства таких аппаратов при минимальной металлоемкости.

В данной работе рассмотрен комплексный способ повышения эффективности и снижения стоимости теплообменного аппарата путём замены пластины из нержавеющей стали на пластину из черной стали с нанесенным на нее покрытием нитрида титана и гидрофобизации внутренних поверхностей.

Пластины, сделанные из черной стали, являются экономически дешёвыми аналогами нержавеющей стали, но при этом сильно подвержены коррозии. Тонкая пленка (напыление) из нитрида титана толщиной всего в 3 микрона увеличивает износостойкость пластины в 4 раза, защищая его от коррозии, механических повреждений и окислительных процессов. Гидрофобизация применяется для решения еще одной проблемы, возникающей при эксплуатации теплообменного аппарата — забивания проходных сечений отложениями, а также для снижения величины гидравлического сопротивления.

### **Литература**

1. **А.С. Приданцев, С.С. Амирова, А.А. Сагдеев, А.Т. Тухватова** Пластинчатые теплообменники // Методические указания. ГОУ ВПО «Казанский государственный технологический университет», 2010.

*Б. Бу Дакка, асп.; рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА РЕКУПЕРАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СО СЖИГАНИЕМ СМЕСИ МЕТАНА И ВОДОРОДА**

Разработка электростанций с комбинированным циклом и с высокой энергетической эффективностью является актуальной задачей. Также необходимо снижать выбросы парниковых газов. Для этого необходимо исследовать проблему использования водорода на электростанции с комбинированным циклом.

Часто основное внимание уделяется не только выработке электроэнергии, но и соединению электростанций с несколькими производственными процессами. Проблема заключается в том, что на практическом уровне трудно реализовать эти предложения, поскольку электростанции остаются отделенными от других производственных процессов.

Поэтому в нашем предложении мы сосредоточимся на выработке электроэнергии совместно с уменьшением выбросов парниковых газов. Мы знаем, что в электростанции есть высокие потери тепла с отходящими газами. Необходимо разработать комбинированный цикл электростанции с минимальными потерями энергии.

Научные исследования также доказали, что использование водорода на 10–20% (об) в камере сгорания приводит к сокращению выбросов парниковых газов и улучшает стабильность сгорания без необходимости внесения каких-либо изменений в конструкцию камеры сгорания.

В данной работе предлагается рекуперационная установка [1], которая объединяет технологии выработки электроэнергии с использованием цикла Брайтона, парового цикла Ренкина, органического цикла Ренкина, а также улучшает охлаждение с использованием АБХМ.

Использование предлагаемой установки позволяет повысить выработку электрической энергии без усложнения конструкции установки за счет реализации более эффективного процесса рекуперации тепла из отходящего газа благодаря последовательно предусмотренными ОЦР циклом и АБХМ после источника отходящего тепла, с одной стороны, и использования водорода, добавляемого в природный газ в качестве топлива для сжигания, с другой.

### **Литература**

1. **Бу Дакка Баидаа, Султангузин И.А., Яворовский Ю.В, Бартнев А.И;** Патент на изобретение. Рекуперационная энергетическая.; патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» — № 2779349; заявл. 30.03.2022; опубл. 06.09.2022. <https://findpatent.ru/patent/277/2779349.html>.



*В.А. Екимова, аспирант;  
рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ДВУХ ТИПОВ ОТХОДОВ В КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Города имеют возобновляемый источник энергии в виде постоянно растущего потока твердых коммунальных отходов (ТКО) и осадков сточных вод (ОСВ). Мировая практика показывает, что в больших городах наиболее доступным и экономически целесообразным альтернативным источником энергии являются ТЭЦ, работающие на ТКО. Таким методом получается очистить город от ТКО, обеспечить население энергией и решать экологические и социальные проблемы.

В связи с недостаточной реализацией проектов по утилизации ОСВ, предлагается разработка технологии совместной термической ликвидации ОСВ и ТКО в печи вращающегося кипящего слоя (КС) с высокоэффективной системой очистки дымовых газов, с применением данной схемы в коммунальной энергетике (рис. 1).

В печь вращающегося КС будут совместно подаваться ТКО, прошедшие первичную сортировку и измельчение, и прошедшие этап подготовки и сушки ОСВ. Дефлектор над топочной камерой обеспечивает вращение слоя, определяет степень расширения данного слоя и уменьшает вынос теплоносителя. Под действием потоков воздуха происходит принудительное эллиптическое движение кипящего слоя. Наклонная решетка облегчает выгрузку золы из реактора, средняя температура слоя не превышает 800–950 °С.

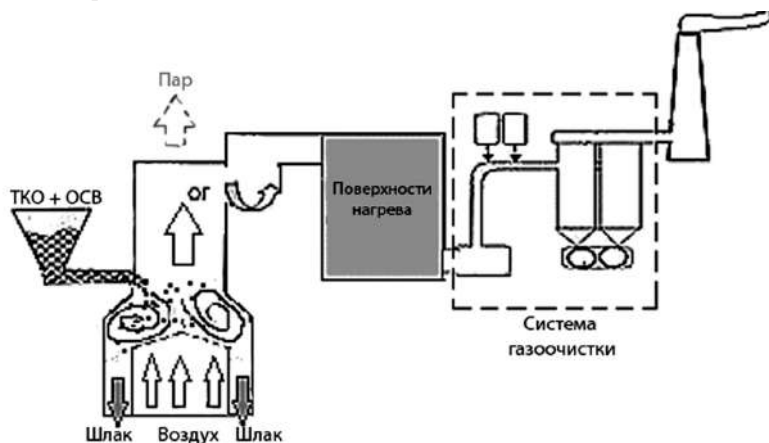


Рис. 1. Схема на основе котла с вращающимся КС

*О.А. Чехранова, асп; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПУТЕМ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЗЕРВОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

Для полноценного развития страны необходимо обеспечивать урбанизацию городов, которая характеризуется расширением и улучшением социальной сферы, строительных, наукоемких и промышленных отраслей, а также стратегически важным является развитие энергетики как регионов, так страны в целом.

В энергетической стратегии России до 2035 года указано, что приоритеты государственной энергетической политики — это развитие энергетического сектора, оно будет обеспечиваться с учетом следующих приоритетов государственной энергетической политики: гарантированное обеспечение энергетической безопасности страны и ее регионов [1]. Связи с этим к модернизации и усовершенствованию энергопромышленного комплекса необходимо подходить комплексно.

В данной статье рассматривается подход по совершенствованию энергетического комплекса страны и повышению экологической безопасности, путем снижения вредного воздействия. Этот подход объединяет в себе анализ энергетического баланса страны, анализ структуры потребления топливно-энергетических ресурсов по категориям и выделение крупных участников, анализ потребления первичного топлива по регионам. В работе была оценена динамика потребления топлива за 10 лет, наибольший скачок показал раздел потребление населения — порядка 40%. В статье выявлены и разделены на категории резервы промышленной отрасли. В работе авторами был рассмотрен пример модернизации энергетического комплекса города с учетом его особенности. При реализации термодинамических резервов применения ВЭР на алюминиевом заводе можно достичь сокращения выбросов на 15% и обеспечить город энергией порядка 3 Гкал.[2]

### **Литература**

1. **Энергетическая стратегия** России на период 2035 [Электронный ресурс]. — Режим доступа <http://www.bigpowernews.ru/> (Дата обращения: 25.02.2022)
2. **Е.Ю. Яковлева, О.А. Чехранова, В.В. Рудомазин** // [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://eipc.cente> (дата обращения 09.09.2022)

*Ц. Цэрэндорж, асп., В.Ю. Чайкин, асп.;  
рук. И.А. Султангузин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЯ В МОНГОЛИИ**

В Монголии резко-сухой континентальный климат с четырьмя сезонами года, в некоторых местах могут достигать (-45)°С градусов. Расчетная температура наружного воздуха в столице Улан-Баторе составляет (-39)°С градусов. В связи с этим система теплоснабжения и надежное бесперебойное производство является важной отраслью для страны. Поэтому не зависимости от температуры наружного воздуха сложно поддерживать постоянную температуру внутри здания. Но мы можем хранить энергию, утеплив здание, чтобы постоянную температуру воздуха внутри здания. В последние годы возникает остро необходимость в решении проблемы энерго дефицита. Потенциальная мощность основного источника составляет 1037 Гкал/ч, а требуемая нагрузка тепла 1387 Гкал/ч в 2021 году.

Улан-Батор столицы около 51% населения столицы по-прежнему живут в юртах и частных домах с печным отоплением, который использует бурый уголь. В результате загрязнение воздуха значительно увеличивает выбросы парниковых газов. А 49 процентов людей столицы живут в многоквартирных домах. Почти 30 процентов людей живут в панельных домах, которые были введены в эксплуатацию в период с 1965 по 2000 год. В этих домах большие теплопотери. Утепив их в соответствии со строительными нормами, можно сэкономить топливно-энергию на 30–50 процентов.

### **Литература**

1. **Б. Чойжилсурэн, Б. ЕрэнУлзий, Ё. Энхтуяа, Г. Тулга.** Научно-исследовательская конференции “Энергетический переход и устойчивое развитие”, Минитерство Энергетики в Монголии, 2022 г. С. 5–9.
2. **Давааням С.** Исследование реформа теплового технического для панельных домов. 2020 г. С. 3.

*Ц. Цэрэндорж, асп.,  
рук. И.А. Султангузин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»),  
Б. Улзийбадрах, к.т.н. (МГУНТ «ЭИ»)*

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ МОНГОЛИИ**

Объединенная энергосистема Монголии (ОЭС) обеспечивает более 330 сумов в 5 энергосистемах: западный, центральный, южный и восточный районы, а также система Алтай-Улиастай.

Деление по видам производства электроэнергии выглядит следующим образом: тепловые электростанции 82% и источники возобновляемой энергии 18%. Разбивка возобновляемых источников энергии 57% ветра, 33% солнца и 10% гидроэлектростанции.

Тепловая нагрузка одного центра сума составляет 1,0–1,4 МВт, ежегодно сжигается в среднем 1200 тн угля и выделяется 1700 тн CO<sub>2</sub>. Кроме того в последние годы центральная часть Монголии испытывает дефицит электро и тепло энергии, вплотную приблизившись к установленной мощности. В среднем за год потребление растет на 5–7%. Мы можем решить эти проблемы, используя возобновляемые источники энергии, особенно солнечную энергию, в сумах и в центре.

По климатическим характеристикам Монголии 70% всей территории с длительным периодом солнечного сияния относится к категории с высокими ресурсами использования солнечной энергии. В частности, в пустыне Сахара среднегодовой солнечный ресурс, падающий на горизонтальную поверхность, составляет 2350 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), в то время как в регионе Гоби среднегодовой солнечный ресурс составляет 2100 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). В среднем для Монголии данное значение составляет 1672 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). Это показывает, что у нас есть богатые ресурсы для использования солнечной энергии. Солнечная энергия может использоваться не только для производства электроэнергии, но и для производства теплоэнергии в системах теплоснабжения.

### **Литература**

1. **Мунхтуяа Э.** Исследование возобновляемых источников энергии для использования в населенных пунктах сума в климатических условиях Монголии. Улан-Батор, 2019 г. С. 32–33.

*А.Г. Разумова, асп.;*  
*рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И ОЦЕНКА ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Обязанность по осуществлению качественного теплоснабжения и (или) горячего водоснабжения потребителей является ключевой задачей для теплоснабжающей организации. Параметры теплоснабжения являются существенными условиями договора [1].

Схема теплоснабжения содержит описание источников тепловой энергии и их зон деятельности [2]. В части 2 «Источники тепловой энергии» главы 1 схем теплоснабжения содержится описание источников тепловой энергии, включая параметры установленной тепловой мощности источника тепловой энергии, в том числе теплофикационного оборудования и теплофикационной установки.

Методическими указаниями [3] предусмотрены требования к описанию источников комбинированной выработки для поселений, городских округов, городов федерального значения, содержащие описание показателей основного оборудования источника комбинированной выработки, ограничений тепловой мощности и показателей располагаемой тепловой мощности теплофикационной установки источника комбинированной выработки. При этом существующего подхода оказывается не достаточно для определения наиболее эффективного пути использования энергетических ресурсов.

В данной работе проведен анализ существующих методик для оценки показателей эффективности источников тепловой энергии, а также рассмотрены критерии, которые могут быть использованы для обоснования принятия решения о переключении тепловых нагрузок. Разработаны основные положения для определения целесообразности переключения тепловых нагрузок существующих источников энергии на более эффективные

### **Литература**

1. **Правила** организации теплоснабжения в Российской Федерации, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 08.08.2012 № 808 (пункт 21).
2. **Требования** к схемам теплоснабжения, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 № 154 (пункты 28, 29 и 34).
3. **Методические указания** по разработке схем теплоснабжения, утвержденные приказом Минэнерго России от 05.03.2019 № 212.

*И.С. Корнеев, студ. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва);  
А.Г. Рассадкин, асп.;  
рук. В.С. Пузаков, к.т.н., ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АППАРАТОМ ПРЕДИКТИВНОЙ ГИДРОСТРУЙНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

На сегодняшний день в России большая часть трубопроводов тепловых сетей, как неотъемлемая составляющая систем централизованного теплоснабжения, выработала свой нормативный ресурс, который составляет 25 лет.

При этом, в среднем по стране в год замене подлежат порядка 1,5–2% трубопроводов тепловых сетей при необходимой потребности в замене около 5%.

В 2022 г. на уровне руководства страны оценка потребности в замене трубопроводов тепловых сетей в целом по РФ составила около 35% или в денежном выражении более 700 млрд руб.

Не смотря на значимую сумму в денежном эквиваленте, ее недостаточно для тотального обновления инженерной инфраструктуры, выработавшей свой нормативный ресурс.

Стоит отметить, что исчерпание нормативного срока службы трубопроводов не всегда является приговором для их обязательной замены.

Для оценки фактического состояния трубопроводов тепловых сетей необходимо применять различные способы их диагностики с использованием методов неразрушающего контроля.

Таким образом, на сегодня одной из актуальных задач является выявление участков трубопроводов, фактически выработавших свой ресурс, или оценка их остаточного ресурса.

Сегодня в мегаполисах России ряд теплоснабжающих организаций (ТСО) применяет различные способы диагностики трубопроводов тепловых сетей для оценки их фактического состояния и планирования вывода их в плановый или капитальный ремонт, при этом нет единого метода диагностики. Ключевыми ТСО здесь являются ПАО «МОЭК» (г. Москва) и АО «Теплосеть Санкт-Петербурга» (г. Санкт-Петербурга).

Каждый метод диагностики отличается в первую очередь своей эффективностью и точностью.

Поиск новых современных и эффективных способов диагностики является актуальной научно-практической задачей.

Одним из таких способов является использование технологии гидроструйной диагностики для оценки фактического состояния трубопроводов.

*Е.М. Козлов, студ.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ИММЕРСИОННЫХ ВАНН**

В связи с ростом вычислительных мощностей центров обработки данных (ЦОД) во многих развивающихся странах, на данный момент становится популярной технология иммерсионного охлаждения электронного оборудования. Рынок ЦОД в России достигает 80 тысяч серверных стоек, а общая установленная мощность ЦОД в РФ — до 500 МВт, из них примерно 250 МВт заложено под охлаждение, а 150 МВт теряется в виде тепла. При этом ежегодный рост рынка составляет 10–15% или 5–7 тысяч серверных стоек в год общей мощностью до 50 МВт (потенциал по теплу — до 15 МВт, снижение требуемой мощности — до 25 МВт). Данное решение позволяет увеличить срок службы электронного оборудования из-за более равномерного распределения тепла, а также эффективно использовать и утилизировать вырабатываемое тепло электронным оборудованием, в том числе для обогрева. В результате проведенного исследовательского расчета [1] видно, что иммерсионная система более выгодна по сравнению с воздушной. Таким образом, пропадает необходимость в использовании активных элементов охлаждения, что позволяет сократить занимаемую площадь серверов в стойках и повышает энергоэффективность [2]. Также внедрение ЦОД с утилизацией тепла позволяет уйти от потребления электроэнергии на охлаждение. Такая система охлаждения осуществляет свою работу путем погружения электронных компонентов в иммерсионное масло или другой выбранный теплоноситель в специальных ваннах, с последующим отводом тепла через теплоноситель. Стоит отметить, что к иммерсионной жидкости имеется ряд требований, который включает в себя вязкость, теплопроводность, теплоемкость, диэлектрические свойства, экологическое влияние, а также взрыво- и пожаробезопасность.

### **Литература**

1. **Осинин, И.П.** Технические аспекты и экономический эффект использования иммерсионной системы охлаждения / И.П. Осинин, А.В. Шадохин // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции, Москва, 26–27 сентября 2016 года. — Москва: Московский государственный университет.
2. **Пескова, С.** Иммерсионное охлаждение электроники / С. Пескова // Компоненты и технологии. — 2018. — № 2(199). — С. 126–130. — EDN YVJSSL.

**Секция 37**  
**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ**  
**И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**  
**Electrochemical and hydrogen energy**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Кулешов Николай Васильевич*

*Секретарь секции: Курочкин Семен Васильевич*



*Д.Д. Спасов, аспирант;  
рук. С.А. Григорьев, д.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”);  
Р.М. Меншарапов, аспирант; М.В. Синяков, аспирант  
(НИЦ “Курчатовский институт”, Москва)*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО НАСОСА В ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ ТЯР**

Электрохимический водородный насос (ЭВН) является электрохимическим устройством, позволяющим обеспечивать транспорт водорода с анодной стороны на катодную с использованием электрической энергии. ЭВН может успешно применяться в различных системах как для увеличения давления водорода, так и для его очистки от примесных газов [1]. К преимуществам данных устройств можно отнести высокую эффективность сжатия водорода, высокую степень очистки и отсутствие движущихся частей, и, как следствие, возможность достижения более длительного срока службы.

Одной из важнейших систем термоядерных установок является топливный цикл, который представляет собой совокупность подсистем, направленных на обеспечение топливом (изотопами водорода) плазменной камеры, инъекцию топлива в плазму и последующую переработку и очистку топлива, извлеченного из плазменной камеры, примером таких систем могут служить ТЦ ЖЕТ, ИТЭР, CFETR и ДЕМО-ТИН.

ЭВН может быть применен в различных частях ТЦ для выделения, очистки или компримирования водорода, а также в аналитических целях для концентрирования малых количеств водорода.

В данной работе представлены результаты экспериментов по исследованию процесса очистки и концентрирования водорода в ЭВН в диапазоне давлений газовой смеси в надмембранном пространстве (вплоть до давлений ниже атмосферного).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-29-01367.

### **Литература**

1. **Sdanghi G. et al.** Review of the current technologies and performances of hydrogen compression for stationary and automotive applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* — 2019. — Т. 102. — С. 150–170.

*М.В. Синяков, аспирант (РХТУ, Москва); Д.Д. Спасов, аспирант;  
рук. С.А. Григорьев, д.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”);  
Н.А. Иванова (НИЦ “Курчатовский институт”, Москва)*

## **АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ТИТАНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ**

Электрохимические устройства с твердым полимерным электролитом, такие как электролизеры и топливные элементы, широко используются в энергетической отрасли для производства водорода и получения энергии. Существенным недостатком таких устройств является коррозия конструкционных элементов, которая приводит к уменьшению времени эксплуатации устройства, а также к снижению электрохимических характеристик [1]. Для решения данной проблемы нами предложено использование защитных покрытий, а именно, карбидов титана, которые обладают высокими антикоррозионными показателями, при этом не снижают электрохимическую эффективность устройства [2]. Результаты исследований показали, что использование защитных покрытий на основе карбидов титана позволяют увеличить ресурс работы электрохимических устройств в несколько раз.

Нанесение покрытия проводилось с помощью метода магнетронного распыления. Данный метод позволяет получать покрытия с различной морфологией, структурой и составом. Все полученные покрытия были исследованы на коррозионную стойкость в составе электролизной ячейки.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации МК-4120.2022.1.3.

### **Литература**

1. **Григорьев С.А.** Обратимые электрохимические системы с твердым полимерным электролитом // Электрохимическая энергетика. — 2009. — Т. 9. — №. 3. — С. 128–137.
2. **Chen G. et al.** Gas diffusion layer with titanium carbide for a unitized regenerative fuel cell // Electrochimica acta. — 2010. — Т. 55. — №. 28. — С. 8801–8807.

*Е.В. Ковтушенко, студ.;*  
*рук-ли А.М. Скундин, д.х.н., проф.;*  
*Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)*

## **АНОДНЫЙ МАТЕРИАЛ Ge–Co–P ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

С каждым годом растет популярность разработок натрий-ионных аккумуляторов для будущих применений в пост-литий-ионной эпохе. Сейчас исследования в основном направлены на получение электродных материалов с высокой удельной емкостью и малой величиной деградации при циклировании. В данной работе представлены результаты работы трехкомпонентной системы Ge–Co–P в натриевой трехэлектродной ячейке для дальнейшего использования композита в качестве отрицательного материала для натрий-ионного аккумулятора.

Наноструктурные композиты Ge–Co–P состава  $\text{CoGe}_2\text{P}_{0,1}$  были получены методом катодного осаждения из водного электролита. Структура композита была определена с помощью рентгенофлуоресцентного и рентгеноструктурного анализов.

Электрохимические измерения проводились в трехэлектродных ячейках, содержащих: рабочий электрод (Ge–Co–P) размером  $1 \text{ см}^2$ , противоэлектрод и электрод сравнения на основе металлического натрия, накатанного на никелевую сетку. Электроды разделялись сепаратором из полипропилена. Все операции по сборке ячеек и заливке их электролитом проводили в перчаточном боксе с атмосферой сухого аргона. В качестве электролита использовался  $1 \text{ М NaClO}_4$  в смеси пропиленкарбонат — этиленкарбонат (1:1). Содержание воды, измеренное методом кулонометрического титрования по Фишеру (917 Coulometer, Metrohm), не превышало  $15 \text{ ppm}$ .

Измерения удельной емкости наноструктур Ge–Co–P проводились в гальваностатическом (зарядно-разрядные кривые) и потенциодинамическом (циклические вольтамперограммы) режимах. Плотности тока при гальваностатических экспериментах варьировали от  $15$  до  $60 \text{ мА/г}$ , скорости развертки потенциала при циклической вольтамперометрии составляли  $0,05$  и  $0,1 \text{ мВ/с}$ . Пределы потенциала при циклировании составляли  $0,01$ – $3,0 \text{ В}$ .

По результатам циклирования выявлено, что исследуемый композит способен к обратимому внедрению натрия с удельной емкостью до  $460 \text{ мАч/г}$ . Эффективный коэффициент диффузии натрия в  $\text{CoGe}_2\text{P}_{0,1}$  составил  $4 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 21-13-00160).

*С.В. Курочкин, асп.; А.А. Гаврилюк, асп.;  
рук. В.Н. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭЛЕКТРОДЫ НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ДЛЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ**

Щелочные электролизёры воды уже длительный промежуток времени находят применение во многих отраслях отечественной промышленности. При проектировании перспективных щелочных электролизных батарей в роли электродной основы часто рассматривают нержавеющую сталь [1]. В качестве электродного материала рассматривалась нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т, хорошо зарекомендовавшая себя при использовании в технологических процессах с агрессивными средами. Для увеличения каталитической активности данных электродов на них наносился слой никеля методом электроосаждения. Затем исследуемые электроды помещались в термостакан для проведения цикла ускоренных испытаний под действием постоянного тока. Электролитом выступал 6 М раствор КОН, температура которого поддерживалась на уровне 90°C. Плотность тока составляла 1000 мА/см<sup>2</sup>. В результате проведённых испытаний электролит получил светло-жёлтую окраску, что может свидетельствовать о процессах выделения шестивалентного хрома (Cr<sup>6+</sup>). Кроме того, на поверхности первого образца, выступавшего в роли анода, разрушилось всё никелевое покрытие. При этом часть никеля с анода была электроосаждена на катоде (второй образец). Дальнейшее снятие циклических вольтамперограмм в трёхэлектродной ячейке относительно окисно-ртутного электрода сравнения выявили пик при 125 мВ у первого образца. Примечательно, что данный пик не наблюдался у второго образца, так как на его поверхности полностью сохранилось никелевое покрытие. Данный слой выполнял защитную роль, не позволяя нержавеющей сетке контактировать с агрессивным электролитом. Поэтому данный пик в анодной области можно идентифицировать как процесс электроокисления хрома. Уменьшение содержания хрома может привести к снижению коррозионной стойкости. Это требует проведения дальнейших исследований в области защиты электродов, являющимися анодами в щелочном электролизе воды, из нержавеющей стали. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01429, <https://rscf.ru/project/22-29-01429/>

### **Литература**

1. **Kuleshov V.N., Kuleshov N.V., Kurochkin S.V., Grigorieva O.Yu.** Synthesis and investigation of electrode-diaphragm assemblies for alkaline water electrolysis // Russian Journal of Electrochemistry, 2022, V. 58, P. 464–470. DOI: 10.1134/S1023193522060052

*С.И. Бутрим, асп.; М.В. Козлова, асп.; А.В. Рябышенков, студ.;  
М.А. Соловьев, асп.; Д.А. Симкин, соиск.;  
рук-ли И.В. Пушкарева, к.т.н.; А.С. Пушкарев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ВОДЫ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА**

За счёт мировой потребности в экологически чистых источниках энергии в последние годы, можно отметить особое внимание к электролизу воды с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), т.к. он позволяет получить высокочистые газы и отличается высокой производительностью, эффективностью и манёвренностью. Однако, достичь более высокой производительности и долговечности мешают процессы, связанные с потерями при массопереносе, а также деградация компонентов мембранно-электродного блока (МЭБ) электролизера воды с ТПЭ. Поэтому большое значение имеют методы диагностики электрохимических систем, которые реализуются «неразрушающим» образом “in-situ”.

Метод спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ) получил большое распространение в качестве метода, позволяющего неразрушающим образом, “in-situ” [1] исследовать различные электрохимические системы: аккумуляторы [2], топливные элементы [3] и др. В сочетании с другими подходами (вольтамперометрия и пр.) СЭИ открывает новые возможности по идентификации основных процессов, протекающих в электролизере воды.

В представленной работе показаны возможности применения метода СЭИ для исследования характеристик МЭБ электролизера воды с ТПЭ и анализа распределения потерь напряжения в зависимости от различных рабочих параметров.

Работа выполнена в рамках проекта «Исследование ограничений транспорта в пористых транспортных слоях электролизера воды с твердым полимерным электролитом» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и IT» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2022–2024 гг.»

### **Литература**

1. **Wang S.** // Nat Rev Methods Prim. 2021, 1:41.
2. **Meddings N.** // J Power Sources. 2020, 480:228742.
3. **Heinzmann M.** // J Power Sources. 2018, 402:24–33.

*И.А. Бурцев, студент; А.Ю. Лихаева, аспирант; И.С. Соколов, аспирант; рук. М.Р. Дасаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ PVD-ПОКРЫТИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТЫ ОТ ВОДОРОДНОГО ОХРУПЧИВАНИЯ СТАЛЕЙ**

Водород относится к универсальным, экологически чистым видам топлива, однако его использование осложняется последствиями постепенного накопления атомов водорода в кристаллической решетке, что в свою очередь приводит к водородному охрупчиванию материалов. Наводороживание в значительной степени определяет возможный ресурс работы ответственных элементов оборудования в различных сферах промышленности, в том числе в ядерной энергетике, химическом производстве, металлообрабатывающей и нефтегазовой промышленности. Длительное воздействие водорода снижает предел текучести металлов, в связи с чем происходят процессы перестроения кристаллической решетки и значительные деформации металла [1].

Одним из наиболее перспективных способов предотвращения наводороживания стали наряду с магнитным методом, гальвано-методом и лазерной обработкой, является способ, основанный на применении покрытий на основе ионно-плазменного напыления (PVD). PVD-покрытия отличаются повышенной коррозионной и износостойкостью, что делает их более предпочтительными при использовании с целью хранения и транспортировки водорода и сред, содержащих активный водород.

На основе аналитического обзора научно-технической литературы в дальнейшем будет разработана расчетная модель оценки барьерного эффекта водородного охрупчивания при использовании PVD-покрытий. Планируется проведение серии экспериментальных исследований по определению влияния водородного охрупчивания на механические свойства экспериментальных образцов с PVD-покрытием.

Работа выполняется в рамках проекта «Разработка технологических основ защиты от водородного охрупчивания сталей» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и IT» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2022–2024 гг.»

### **Литература**

1. **Yi Liu, Yang Chen, Chendong Yang, Xianhong Han.** Study on hydrogen embrittlement and reversibility of hot-stamped aluminized 22MnB5 steel. // *Materials Science and Engineering: A* Volume 848, 143411.

*М.В. Козлова, асп.; М.А. Соловьев, асп.; С.И. Бутрим, асп.;  
рук-ли И.В. Пушкарева, к.т.н.; А.С. Пушкарев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНОГО БЛОКА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ВОДЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Водород привлекает большое внимание во всем мире как энергоноситель для бытовых и промышленных целей. Его можно производить химическими, электрохимическими, биологическими и термическими методами. В настоящее время 95% водорода производится путем паровой конверсии метана, хотя такой способ производства приводит к истощению запасов ископаемого топлива и выбросу  $\text{CO}_2$  [1]. Электролиз воды — перспективная технология производства водорода (в т.ч. «зеленого»), которая позволяет получать энергоноситель высокой чистоты. Современные мембранные системы электролиза воды представлены электролизерами на основе с протонообменной (ПОМ) либо анионообменной мембраной (АОМ).

За последние годы технология электролиза воды с АОМ продемонстрировала значительный прогресс. Данная технология сочетает в себе преимущества традиционного щелочного электролиза и электролиза воды с ПОМ. [2].

Основным компонентом электролизера воды с АОМ является мембранно-электродный блок (МЭБ), включающий в себя мембрану, пористые транспортные слои и каталитические слои. Каталитические слои могут быть сформированы как на поверхности мембраны, так и на поверхности электродов.

В рамках данной работы рассмотрены подходы к улучшению транспорта заряда в МЭБ электролизера воды с АОМ, включающие применение микропористого подслоя на основе Ni, а также дополнительного подслоя анионообменного иономера между каталитическим слоем и мембраной.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01429, <https://rscf.ru/project/22-29-01429/> (исследование физико-химических и структурных свойств компонентов МЭБ), а также при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук МК-4476.2021.1.3 (исследование характеристик МЭБ).

### **Литература**

1. **Zhang H.** // Renew. Sustain. Energy Rev. 2021, 149.
2. **Pushkareva I.V.** // Int. J. Hydrogen Energy. 2020, 45.

*Г.Р. Киселев, асп.; рук. И.Е. Баранов, к.ф.-м.н., доц.,  
В.Н. Фатеев, д.х.н., проф. (НИЦ «Курчатowski институт)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ТОКА ИЗ ПОРИСТОГО ТИТАНА В СОЛЯНОЙ КИСЛОТЕ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ**

В настоящее время водородная энергетика входит в число одних из самых перспективных направлений альтернативной энергетики по причине распространенности сырьевой базы, минимального негативного воздействия на окружающую среду. Число работ по данному направлению особенно растет в последние годы [1].

Получение водорода с помощью электролизеров воды с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) обрело научную популярность по причине наибольшей безопасности для пользователя и окружающей среды, а также благодаря своим показателям производительности, причем такие устройства могут быть применены в энергоустановках различного масштаба (от портативной техники до автономного энергообеспечения объектов) в широком диапазоне рабочих условий, достигая отрицательных температур [2].

Коллекторы тока изготавливаются из пористого титана и используются в электролизерах воды с ТПЭ для распределения реагентов и подведения электрического тока. При подготовке коллекторов тока пористый титан проходит процедуру травления в растворе соляной кислоты с целью очищения материала от примесей и увеличения долговечности материала, однако избыточная степень травления также может приводить к порче материала и преждевременному износу.

В работе были исследованы образцы пористого титана с различной степенью травления (до 30 мин) с помощью сканирующей электронной микроскопии. Исследования поверхности показали, что с ростом длительности травления наблюдается образование, а затем и увеличение размеров кратеров на частицах титана, что приводит к снижению активной поверхности катализатора за счет попадания частиц катализатора в поры. При этом одномоментное травление в концентрированной соляной кислоте при температуре 55 °С привело к увеличению числа индивидуальных частиц титана без значительного увеличения числа и диаметра пор, что приводит к увеличению поверхности образца за счет разрыва связей между единичными зернами титана в образце.

### **Литература**

1. **Rosokhata A., Minchenko M., Khomenko L., Chygryn O.** Renewable energy: a bibliometric analysis. W3S Web of Conferences. 2021.
2. **Pozio A., Bozza F., Nigliaccio G., Platter M., Monteleone G.** Development perspectives on low-temperature electrolysis. Energia, ambiente e innovazione, 2021.



С.А. Ли, Е.В. Ковтушенко, студенты;  
 рук-ли А.М. Скундин, д.х.н.,  
 Т.Л. Кулова, д.х.н.(ИФХЭ РАН, Москва)

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК СЕРНОГО РАБОЧЕГО ЭЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТИЙ-СЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Для решения проблемы низкой практической удельной ёмкости литий-серного аккумулятора прибегают к различным способам модификации серного электрода, например, легирование электрода различными добавками. Для проведения были изготовлены серные рабочие электроды с мезопористым углеродом в качестве проводящей добавки и такими легирующими добавками, как железо, серебро, оксид титана и селен.

На рисунке 1 показано сравнение разрядной ёмкости серных электродов с легирующими добавками. Из рисунка можно увидеть, что наибольшую начальную ёмкость имел электрод с добавкой железа, однако это значение быстро уменьшалось и на 10 цикле сравнялось со значениями остальных образцов. Наименьшую начальную ёмкость имеет электрод с оксидом титана, но этот образец имеет наилучшую циклическую стабильность среди представленных: после 6 цикла разрядная ёмкость практически перестала уменьшаться и вышла на плато. Электроды с серебром и селеном не показали каких-то неординарных характеристик.

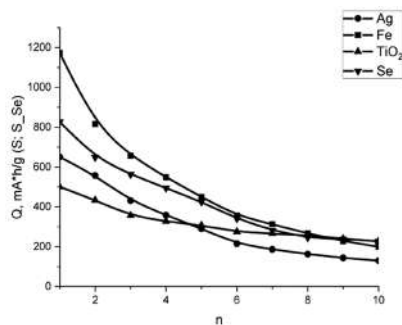


Рис. 1. Сравнение разрядной ёмкости серного электрода с различными добавками

Исходя из полученных результатов, стоит отметить, что необходимо комплексное воздействие, которое обеспечит высокую ёмкость, как в случае с добавкой железа, и хорошие циклические характеристики, как при добавлении оксида титана.

*А.А. Зацепин, аспирант, Е.П. Елисеева, студент;  
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

## **РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОЭНЕРГОЕМКОГО ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА**

В настоящее время в связи со стремительным развитием электротранспорта всех типов наблюдается повышенный интерес к созданию и улучшению вторичных химических источников тока — аккумуляторов. Среди существующих аккумуляторов — литиевые обладают рядом несомненных преимуществ, к которым относится повышенная удельная энергия и емкость. Настоящая работа посвящена разработке и оптимизации структуры высокоэнергоемкого призматического литиевого аккумулятора для малогабаритного электротранспорта.

В работе проведена серия электрохимических испытаний твердофазных положительных электродов различной толщины и дисперсности активного материала. Установлено, что увеличение толщины электродов приводит к постепенному снижению их удельной емкости, причем, чем большей дисперсностью обладает электрод, тем быстрее снижается его удельная емкость при росте толщины. Введение в технологию изготовления электродов стадии пластического деформирования позволяет повысить энергетические параметры положительного электрода и снизить темп падения емкости с ростом толщины, особенно в случае высокодисперсных электродов. Расчетным методом показано, что при интегрировании наиболее эффективных тонкопленочных положительных электродов в структуру источника тока все их преимущества нивелируются падением емкости из-за уменьшения загрузки активных веществ, связанной с ростом доли вспомогательных — конструкционных материалов (сепаратор, токоотводы). В целом, конкуренция двух описанных выше факторов является оптимизационной задачей, то есть задачей определения толщины, при которой рост емкости источника тока за счет увеличения толщины и доли активных компонентов уравнивается снижением емкости за счет деградации электрохимических свойств положительного электрода. Данная задача была решена для призматического аккумулятора 6x5,5x0,9 (ДxШxВ). Установлено, что характеристики емкости аккумулятора от толщины положительного электрода носят экстремальный характер, для каждого значения дисперсности и типа обработки имеется оптимальная толщина, при которой достигается максимальная емкость. Наибольшее значение емкости при разряде плотностью тока 0,25 мА/см<sup>2</sup> было достигнуто для высокодисперсных электродов толщиной 150 мкм, активная масса которых была подвергнута пластическому деформированию.

*С.А. Смирнов, студент; Д.Д. Спасов, аспирант;  
рук. С.А. Григорьев, д.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”);  
Р.М. Меншарапов, аспирант  
(НИЦ “Курчатовский институт”, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР**

Топливный элемент с твердым полимерным электролитом (ТЭ с ТПЭ) является одним из основных электрохимических генераторов электроэнергии в водородной энергетике. Большое влияние на эффективность и стабильность работы ТЭ с ТПЭ оказывает электрокатализатор. При разработке ТЭ с ТПЭ обычно используют платиновые электрокатализаторы на основе сажи. С целью увеличения коррозионной стойкости, удельной поверхности и электропроводности носителя применяют структурированные графеноподобные материалы [1].

При разработке электрокатализаторов на основе различных структурированных носителей стоит задача оптимизации условий синтеза для формирования наночастиц платины заданной дисперсности и структуры. С этой целью необходим метод для быстрого анализа свойств получаемых электрокатализаторов. Наиболее популярным электро-химическим методом для оценки свойств новых электрокатализатора является циклическая вольтамперометрия (ЦВА). Исследование кривой ЦВА в области адсорбции/десорбции водорода позволяет оценить активную площадь поверхности, а также может указывать на поверхностную структуру платиновых наночастиц [2].

В данной работе представлены результаты разработки и исследования электрокатализаторов на основе сложных углеродных структур, предложен метод оценки структуры платиновых наночастиц.

Работа выполнена в рамках проекта № ПНИ 2022/24–14 от 01.11.2022 «Моделирование электрохимических характеристик каталитических слоев на основе сложных углеродных наноструктур» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Grigoriev S.A. et al.** Reduced graphene oxide and its modifications as catalyst supports and catalyst layer modifiers for PEMFC // *Materials*. — 2018. — Т. 11. — №. 8. — С. 1405.
2. **Lasia A.** Modeling of hydrogen upd isotherms // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. — 2004. — Т. 562. — №. 1. — С. 23–31.

*С.А. Смирнов, студент; Д.Д. Спасов, аспирант;  
рук. С.А. Григорьев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
Р.М. Меншарапов, аспирант  
(НИЦ “Курчатовский институт”, Москва)*

## **КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ АДСОРБЦИИ ВОДОРОДА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ: ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ НАНОЧАСТИЦ ПЛАТИНЫ И ПЛОТНОСТИ ТОКА**

Взаимодействие водорода с поверхностью металлической платины имеет фундаментальное значение для широкого круга электрохимических процессов и методов, включая циклическую вольтамперометрию. В рамках данного доклада были проведены квантово-механические расчеты адсорбции водорода на поверхность платины, наблюдаемая в методе циклической вольтамперометрии.

Дифференциальная энергия реакции (Гиббса) зависит от структуры наночастиц платины — длины террас и типов ступеней. В докладе представляется расчет энергий адсорбции не на локальных дефектах, а на суммарной поверхности.

Зависимость плотности тока от ЭДС рассчитывалась по уравнению, получаемому из изотерм Фрумкина для изученных электрокаталитических реакций на поверхности платины с учетом экспериментальных поляризационных кривых для конкретного вида поверхности кристалла платины [1].

Таким образом, в работе установлена зависимость механизмов протекания адсорбции водорода от положения каталитически активного атома на различных плоскостях наночастиц платины, а также получены зависимости значений плотности тока в модельной электрохимической системе от ЭДС.

Работа выполнена в рамках проекта № ПНИ 2022/24–14 от 01.11.2022 «Моделирование электрохимических характеристик каталитических слоев на основе сложных углеродных наноструктур» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **M. Søgaard, M. Odgaard, E.M. Skou** An improved method for the determination of the electrochemical active area of porous composite platinum electrodes // *Solid State Ionics* 2001. V. 145. P. 31–35.

*Я.В. Исаев, В.А. Зайцев, студенты;  
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ БАТАРЕИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЛЕКСА АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Энергоустановки на водородно-воздушных топливных элементах в последние годы активно разрабатываются и используются для различных применений, прежде всего на транспорте (вилочные погрузчики, автомобили), для энергоснабжения потребителей (до 10 мВт), также резервных источников энергии. Несмотря на высокий КПД таких энергоустановок, отсутствие токсичных выбросов, ограничение их более широкого использования связаны с отсутствием доступного и дешевого водорода. Вместе с тем, если водород генерируется из возобновляемых источников энергии там, где он затем используется, то это может дать существенные преимущества при энергоснабжении удаленных объектов децентрализованного энергоснабжения. В данной работе производится расчет схемы автономного энергоснабжения потребителя с высоким потенциалом ветровой энергии, которая не использует привозное органическое топливо, но обеспечивает не только электроснабжение, но и теплоснабжение за счет преобразования избытка электроэнергии парка ветрогенераторов в электрических бойлерах и водородных конденсационных котлах [1].

Важный элемент такой схемы — это энергоустановка на водородно-воздушных топливных элементах, которая за счет потребления накопленного водорода обеспечивает энергоснабжение в периоды слабого ветра, его отсутствия, а также обеспечивает резервное энергоснабжение.

В данной работе проведен расчет параметров батареи топливных элементов альтернативной схемы энергоснабжения исходя из найденного баланса генерируемой электрической энергией и потребляемой электрической и тепловой энергией в годовом разрезе. После расчета энергетических и геометрических параметров, проведено 3D моделирование батареи фильтпрессой конструкции, определены геометрические размеры основных элементов.

### **Литература**

1. **Нефедкин С.И.** Автономные энергетические установки и системы: учебное пособие / С.И. Нефедкин. — М.: Издательство МЭИ, 2018. — 220 с. ISBN 978-5-7046-1847-8

*В.Д. Михневич, В.Е. Елецких, студенты;  
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф.,  
М.А. Климова, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ КОМПЛЕКСА АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ**

Рассматривается схема электроснабжения на основе парка ветрогенераторов с водородным аккумулированием энергии [1]. Электролизер преобразует избыток энергической энергии в водород, который затем может накапливаться или сразу использовать для теплоснабжения в водородных котлах в холодные месяцы года, а также для энергоснабжения. Так накопленный электролизный водород используется в энергоустановке на топливных элементах, для гарантированного энергоснабжения в период слабого ветра или его отсутствия. Кроме того, такая энергоустановка на топливных элементах является резервным источником питания, как обязательный элемент любой схемы автономного энергоснабжения.

Расчет электрохимических преобразователей для альтернативной схемы энергоснабжения для конкретного автономного потребителя проводился исходя из климатических баз данных по ветропотенциалу рассчитывалась генерация электроэнергии от ВЭУ (с дневным лагом), а также его график потребления электрической и тепловой энергии. Далее составлялся баланс, который определял количество ветрогенераторов, состав и производительность электрохимических преобразователей энергии. Производительность электролизной установки определялась из максимального избытка электрической энергии, вырабатываемой ВЭУ за вычетом текущих потребности в электрической и тепловой энергии. Мощность энергоустановки на топливных элементах определялась из максимальной мощности электропотребления в суточном графике нагрузки. Как правило суточная электрическая нагрузка мало меняется в течение года, но должен быть выбран день с максимальной нагрузкой. После расчета параметров электрохимических преобразователей проводилось моделирование и создание их 3-D образов. Кроме того, проводилось моделирование процессов генерации тока и тепло-массообменных процессов.

### **Литература**

1. **Нефедкин С.И. Нефедкин С.И., Барсуков А.О., Мозгова М.И., Шичков М.С., Климова М.А.** Автономное энергоснабжение с использованием ветроэнергетического комплекса и водородного аккумулирования энергии // «Альтернативная энергетика и экология» (ISJАEE), 2019;16–18:12–26.

*M.A. Beshkarev, postgraduate student;  
Scientific advisor S.E. Smirnov, PhD. (MPEI, Moscow)*

## **DEVELOPMENT OF A BATTERY FOR A QUADCOPTER DRONE**

The development of modern electronic systems stimulates the development of compact and efficient power sources with high energy and resource parameters. Presently, unmanned aerial drones have gained great popularity and can be used to monitor road congestion, carry medium-weight cargo, monitor forests, and inspect power lines. This report is dedicated to the development of a lithium battery for unmanned aerial vehicles.

A number of electrochemical tests of the obtained cathodes were carried out. One of the objectives of this study was to explore the effect of mechanical activation on the properties of lithium-polymer battery cathodes. It was found that the use of mechanical activation gives significant advantages both in the discharge potential and in the specific capacity of the electrode. The gain reaches about 15–20%. It is achieved due to a better homogenization and consolidation of the active mass of the electrode. The use of plastic deformation leads to a significant decrease in all components of electrode polarization, which is reflected in higher discharge potential. It is known that the cathode process is limited by diffusion of lithium ion in the solid phase, and this process proceeds more intensively in materials containing structural defects. The process of deformation under high pressure contributes to the formation of a large number of defects in the structure of the solid, which makes it possible to significantly reduce the diffusion polarization of the electrode. Plastic deformation under high pressure proved to be an effective method of modifying the properties and structure of multicomponent solids. On high-pressure apparatuses such as Bridgman anvils solids are subjected to pressure compression in the range of 1 to 5 GPa and shear deformations. As a result, a large number of different defects are formed in their structure.

The impact of pressure and anvil rotation angle on the capacitance of the obtained cathode was also investigated. The best characteristics of the electrodes are achieved at a pressure of 1.7 GPa and the anvil rotation angle of 300 degrees. A further increase in pressure and angle of rotation gives no gain in capacity.

Conducted endurance tests indicated that solid-phase cathodes based on lithium-iron phosphate prepared using mechanical activation can be reversibly cycled at a current density of 0.1 mA/cm<sup>2</sup>. The capacity loss over 70 charge-discharge cycles was 0.05%.

**Секция 38**  
**ЭКОНОМИКА ЭНЕРГЕТИКИ**  
**Economics of energy**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Курдюкова Галина Николаевна*

*Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна*



С.И. Миронова, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ФИЛИАЛА ПАО «РОССЕТИ ЮГ» — «АСТРАХАНЬЭНЕРГО»

Надежное функционирование электросетевого хозяйства играет важную роль и в развитии и стабильной работе промышленных предприятий, и в повышении уровня жизни населения. Однако при решении задачи энергоснабжения ключевое место занимает не только техническое состояние оборудования электросетевых компаний, но и экономические аспекты их развития.

В работе рассмотрен филиал ПАО «Россети Юг» — «Астраханьэнерго». Это крупная сетевая компания, расположенная на территории Астраханской области, которая снабжает электроэнергией широкий круг потребителей: промышленный сектор, включающий предприятия по переработке нефти и газа, предприятия сельского хозяйства и население. Однако, уровень физического износа объектов электросетевого хозяйства фирмы довольно высокий (таблица 1), что может негативно сказываться на качестве оказываемых услуг и эффективности ее деятельности.

**Таблица 1.** Уровень физического износа объектов электросетевого хозяйства «Астраханьэнерго» [1]

Наименование	Значение показателя по годам, %	
	2020	2021
Трансформаторное оборудование	70,15	73,12
Коммутационные аппараты	55,69	65,85
Общий износ по оборудованию	62,61	69,36
ВЛ 35–220 кВ / 0,4–20 кВ	75,45 / 74,37	78,02 / 74,73
КЛ 35–220 кВ / 0,4–20 кВ	47,64 / 45,11	54,29 / 47,09
Общий износ по линиям	70,50	71,37

Целью данной работы является экономическое обоснование реконструкции наиболее изношенного оборудования «Астраханьэнерго». В работе были рассмотрены варианты реконструкции электросетевого хозяйства, рассчитано изменение технико-экономических показателей, проведена оценка изменения надежности энергоснабжения и представлена оценка экономической эффективности, по итогу которой срок окупаемости получился меньше расчетного периода.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод о целесообразности проведения реконструкции филиала ПАО «Россети Юг» — «Астраханьэнерго».

### Литература

1. Раскрытие информации ПАО «Россети Юг». [Электронный ресурс] <https://rosseti-yug.ru/raskrytie-informatsii/> (Дата обращения 11.10.2022 г.)

*Т.Н. Гущина, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ФИЛИАЛА ПАО «РОССЕТИ ЮГ» — «ВОЛГОГРАДЭНЕРГО»**

Наибольшую протяженность электрических сетей в Волгоградской области имеет филиал ПАО «Россети Юг» — «Волгоградэнерго». Филиал обладает ЛЭП протяженностью 45128,1 км, которые включают в себя воздушные и кабельные линии мощностью 35–220 кВ и 0,4–20 кВ. На 2021 год общий износ по линиям составляет 84,83% по отношению к нормативному сроку службы объектов [1], что предопределяет актуальность обновления электрических сетей и, в связи с этим, экономического обоснования возможных вариантов модернизации сетей.

Целью работы являлось экономическое обоснование выбора варианта модернизации электрических сетей филиала ПАО «Россети Юг» — «Волгоградэнерго». В ходе проведения работы было определено, что в 2021 году произошло 4098 аварий или 27,24% от общего количества аварий по филиалам ПАО «Россети Юг». Экономический ущерб от недоотпуска электроэнергии по данному филиалу составил 48,32% от общего недоотпуска электроэнергии ПАО «Россети Юг», что превышает подобный показатель по другим филиалам этой организации более чем в 2 раза. В результате анализа отчетной документации об авариях было выявлено, что большая часть из них происходит по техническим причинам. В работе были рассмотрены варианты модернизации с целью снижения аварийности в электрических сетях и повышению надежности и экономической эффективности деятельности филиала ПАО «Россети Юг» — «Волгоградэнерго». В результате проведения сравнительного анализа технических характеристик кабелей ЛЭП различных марок были определены наиболее подходящие марки с экономической и технической точки зрения. Оценка экономической эффективности предлагаемого варианта модернизации показала, индекс доходности превышает значение 1, а срок окупаемости проекта меньше расчетного периода, что свидетельствует о экономической целесообразности его реализации.

По итогу работы можно сделать вывод, что проведение замены изношенных сетей позволит повысить не только надежность энергоснабжения, но и экономическую эффективность деятельности ПАО «Россети Юг» — «Волгоградэнерго».

### **Литература**

1. **Портал электросетевых услуг — РОССЕТИ.** Раскрытие информации. [Электронный ресурс] [https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE\\_fullinfo](https://портал-тп.рф/platform/portal/tehprisEE_fullinfo) (Дата обращения 21.10.2022 г.)

*Е.Р. Шержуков, студ.;  
рук. Д.В. Никифорова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В настоящее время важным условием эффективного функционирования любого предприятия является правильная оценка рыночной ситуации. Предприятие не сможет достичь устойчивого успеха в бизнесе, если оно не исследует и не анализирует изменения, происходящие на рынке, не сравнивает свои возможности с возможностями ближайших конкурентов для разработки стратегических мероприятий эффективного управления.

Ключевая роль в Российской Федерации отводится энергетике и нефтегазовой промышленности. Основным игроками нефтегазовой отрасли являются крупные вертикально — интегрированные нефтяные компании, которые осуществляют деятельность на всех сегментах рынка: добыча и переработка нефти, хранение, оптовая, мелкооптовая и розничная реализация нефтепродуктов. Особенность конкуренции в данном секторе выражается в борьбе за технологии в области возобновляемых источников энергии, разведки и добычи углеводородов трудноизвлекаемых запасов [1].

Конкурентоспособность предприятия — это показатель эффективности использования им экономических ресурсов в сравнении с конкурентами. Ее оценка необходима как самой организации для разработки мероприятий по увеличению доли рынка и выходу на новые рынки сбыта [3], так и другим заинтересованным лицам: инвесторам для выгодного вложения капитала; потенциальным партнерам для принятия решений о сотрудничестве; банкам при рассмотрении вопроса о кредитовании.

Правильный выбор метода оценки конкурентоспособности позволяет избежать ошибочных управленческих решений. Для решения этой задачи использована методика оценки О.Р. Тиссена, в соответствии с которой оценка конкурентоспособности нефтегазового предприятия представляет собой определение эффективности управления, использования производственных, трудовых и экономических ресурсов и сопоставление полученных результатов с аналогичными показателями конкурентов.

Результаты выполненной работы позволяют сформировать предложения по укреплению конкурентной позиции предприятия.

### **Литература**

1. **Григорьев Л.И., Кершенбаум В.Я., Костокрызов А.И.** Системные основы управления конкурентоспособностью в нефтегазовом комплексе. Научно-методическое пособие. [Электронный ресурс] // 2010 г.
2. **Беленов, О.Н.** Конкурентоспособность стран и регионов / О.Н. Беленов, А.А. Ануцин. — М.: КНОРУС. [Электронный ресурс] // 2015.
3. **Портер М.** Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов. [Электронный ресурс] // 2005 г.

*М.А. Каманина, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ)*

## **РАЗВИТИЕ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ**

Угольная промышленность играет важную роль не только в топливно-энергетическом комплексе РФ, но также в химической промышленности и черной металлургии, привлекательна как с точки зрения притока иностранного капитала в страну, так и как способ налаживания экономических и политических отношений.

В 2022 г. отрасль столкнулась с беспрецедентным кризисом, обусловленным введением рядом стран санкций и ограничений. Помимо этого, давление оказывают и решения внутри страны: приостановление действия правил недискриминационного доступа перевозчиков угля к ж/д инфраструктуре Восточного полигона, индексация тарифов на перевозку ОАО «РЖД», приостановление действия понижающих коэффициентов для угля, что в итоге привело к росту тарифов. Также отмечается сокращение добычи угля и поставок на экспорт [1].

В работе проведен анализ финансово-хозяйственной деятельности системообразующей компании АО «СУЭК» в условиях мирового энергетического кризиса. Для повышения эффективности деятельности компании с учетом текущего развития рынка рассматриваются следующие мероприятия: для увеличения провозной способности Восточного полигона железных дорог ОАО «РЖД» предлагает увеличить долю инновационных вагонов, что может принести несколько млн. тонн дополнительной погрузки угля за счет увеличения массы груженого состава. Курсирование таких вагонов на Восточном полигоне на период модернизации инфраструктуры (до 2024 года) принесет также косвенные экономические эффекты для владельца железнодорожной инфраструктуры и окажет стимулирующее воздействие на потенциал маршрутной скидки для инновационных вагонов, удовлетворит возрастающие объёмы погрузки топливно-энергетических ресурсов [2].

При снижении давления внутренних ограничений, связанных в первую очередь с ж/д перевозками, произойдет снижение социально-экономической напряженности, увеличится экспорт угля в страны Азиатско-Тихоокеанского региона и улучшатся финансовые показатели компаний.

### **Литература**

1. **Отчет АЦ ТЭК «Рынок угля 2021-2022».**
2. **Официальный сайт** Информационное агентство «РЖД-Партнер.РУ» [Электронный ресурс] URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/rzhd-zaplanirovali-peredislotirovat-innovatsionnye-vagony-na-vostochnyy-poligon/>

*А.Д. Кочнева, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЫНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РФ ПОД ВЛИЯНИЕМ МИРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

Структурные изменения рынка энергетических ресурсов остаются объектом внимания под влиянием мирового энергетического кризиса, продолжающегося с 2020 года.

Ведущие страны мира в процессе энергетического перехода активно внедряли долгосрочные комплексы мероприятий по снижению углеродного следа.

В то же время, темпы восстановления экономики после отмены ограничений Covid-19 стали причиной значительного повышения спроса на энергоресурсы. При этом востребованность угля как более дешёвого и доступного вида топлива выросла на фоне рекордно высоких цен на природный газ. По данным международного энергетического агентства (IEA), в 2020 году мировой спрос на уголь снизился на 4,4%, однако в 2021 году рост общего потребления составил 6%. Уголь обеспечил более половины дополнительного спроса на электроэнергию в 2021 году, впервые с 2013 года, при этом показал темпы роста в абсолютном выражении выше, чем возобновляемые источники энергии [1].

Таким образом, мировой энергетический кризис замедляет темпы диверсификации источников энергии, сохраняя устойчивые позиции угля на рынке энергоресурсов.

В исследовании проанализированы ретроспективные данные мировых энергетических кризисов, выявлены структурные изменения в угольной промышленности и их влияние на систему ТЭК. Отмечено, что текущий энергетический кризис имеет некоторые параллели с нефтяными потрясениями 1970-х годов, но ключевое отличие состоит в воздействии на все ископаемые виды топлива, а не только на нефтяной рынок. В условиях современной глобализации энергобалансы стран гораздо более взаимосвязаны, чем это было 50 лет назад. Несмотря на то, что большинство стран мира планирует сокращать использование угля к 2040 году, пик потребления угля еще не пройден. В работе определены наиболее эффективные технологии, включая, улавливание, утилизацию и хранение углерода, необходимые для дальнейшего устойчивого развития угольной промышленности РФ в соответствии с экологическими тенденциями.

### **Литература**

1. “Global Energy Crisis,” U.S. Energy Information Administration, 2022. Режим доступа: <https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

*Е.П. Киселева, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ АО «ОЭК» В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОТРАСЛИ**

В современном мире, когда в России происходит активное развитие рыночной экономики, особо важным становится вопрос обеспечения высокого уровня конкурентоспособности предприятий. Успех любого предприятия в конкурентной борьбе зависит и от условий рынка и своего положения на нем, и от своевременного получения и использования информации, позволяющей улучшить экономическое положение предприятия. Для повышения конкурентоспособности организации необходима разработка и реализация мероприятий, учитывающих изменения внешней и внутренней среды, изменения условий функционирования этой организации. Особенно это актуально в текущих условиях цифровизации отрасли, при которых повышается значение своевременного получения и использования рыночных сигналов. Для управления конкурентоспособностью предприятия должна быть разработана конкурентоустойчивая стратегия, учитывающая все вышеперечисленные аспекты.

В работе была рассмотрена организация АО «ОЭК», занимающаяся развитием, эксплуатацией и реконструкцией принадлежащих городу электрических сетей. Данная организация обеспечивает передачу и распределение электроэнергии, осуществляет технологическое присоединение потребителей, ведет строительство новых сетей [1]. Целью исследования в данной работе явилась разработка конкурентоустойчивой стратегии. Для достижения данной цели была решены следующие задачи:

- 1) определен состав факторов, определяющих конкурентоспособность предприятия;
- 2) собрана информация по особенностям организационно-экономической деятельности АО «ОЭК»
- 3) проведен анализ конкурентоспособности АО «ОЭК» по существующим методикам;
- 4) разработан комплекс мероприятий и практических рекомендаций по управлению конкурентоспособностью предприятия.

По итогу работы была разработана стратегия, учитывающая специфику развития рынка энергетической продукции и обеспечивающая эффективность деятельности предприятия в условиях цифровизации. Ее применение приведет к повышению конкурентоспособности АО «ОЭК».

### **Литература**

1. **Раскрытие информации** о компании АО «ОЭК». [Электронный ресурс] <https://www.unesco.ru/o-kompanii> (Дата обращения 17.10.2022 г.)

*М.И. Ходяков, студ.;*  
*рук. Д.Г. Шувалова, доцент, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИЮ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

В настоящее время подходы к оценке инвестиционной привлекательности компаний в условиях цифровизации только разрабатываются. Экономический эффект от цифровизации оценивается в научных работах только для объектов цифровизации [1]. При этом актуальность корректной оценки инвестиционной привлекательности субъектов цифровизации коррелирует непосредственно с реализацией самой цифровизации любого сектора экономики, в том числе и энергетического.

Суть работы заключается в разработке модели оценки стоимости компании осуществляющей цифровизацию в электроэнергетическом комплексе с учетом особенностей цифровизации энергетики в России. Разработка корректной модели оценки позволит оценить изменения в инвестиционной привлекательности компании и влияние на её оценку от участия в мероприятиях по цифровизации.

Объектом исследования является IT-компания, осуществляющая цифровизацию в электроэнергетическом секторе. Предметом исследования является эффект от участия в проекте цифровизации и его влияние на инвестиционную привлекательность IT-компаний.

В ходе работы разработана модель оценки стоимости компании с учетом особенностей цифровизации энергетики в России, проведен анализ чувствительности модели от человеческого и отраслевого фактора, а также сформирован перечень ключевых мероприятий, способных в наибольшей мере повысить инвестиционную привлекательность компании, участвующей в мероприятиях по цифровизации электроэнергетического комплекса.

Результаты работы могут быть использованы в практической деятельности IT-компаний, участвующих в цифровизации электроэнергетических предприятий, а также в учебном процессе для теоретической оценки заинтересованности субъекта в участии в мероприятиях по цифровизации электроэнергетического комплекса.

### **Литература**

1. **Зубкова Г.А. Зимнухова Д.И. Гибадуллин А.А.** Проблемы цифровизации электроэнергетики: от решений к трансформации УДК 621.31 JEL L94.

*Е.А. Мохорт, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, доцент, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СЕБЕСТОИМОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

В настоящее время инновационное развитие предприятий российской энергетики в России направлено на применение цифровых технологий в рамках Концепции Цифровая Трансформация 2030. Одним из трендов развития электросетевого комплекса является внедрение цифровой подстанции (далее ЦПС). Технология представляет собой элемент активно-адаптивной электросети с развитой системой управления, защиты и постоянного мониторинга, передающая информационные потоки в цифровом формате без использования рабочей силы на объектах сбора информации [1]. При внедрении ЦПС изменится не только технический, но и экономический характер, что непосредственно повлияет на структуру затрат и себестоимость передачи электроэнергии.

Суть работы заключается в построении модели себестоимости передачи электроэнергии при внедрении цифровой подстанции. С ростом числа ЦПС в энергосистеме в себестоимости произойдут структурные трансформации. Внедрение цифровой подстанции потребует дополнительных инвестиций, превышающих затраты на возведение традиционной подстанции, при этом дополнительный резерв экономии скрыт в оптимизации пространственных решений, что важно для городов.

Проведенное сравнение себестоимости возведения ЦПС показало, что затраты на заработную плату обслуживающего персонала значительно не изменятся; расходы на амортизацию и ремонт серверной подстанции и здания ЦПС будут увеличивать себестоимость; расходы по обслуживанию подстанции и налог на имущество будут расти ввиду увеличения капитальных затрат на строительство цифровой подстанции.

Построение модели себестоимости передачи электроэнергии при внедрении ЦПС способствует корректировке действующей модели при традиционной подстанции и, таким образом, более точному расчету себестоимости передачи электроэнергии для цифровых подстанций. Результаты работы могут быть использованы в практической деятельности сетевых компаний РФ, а также в учебном процессе для отражения тенденций перестройки энергетики России и численному измерению экономических последствий трансформации.

### **Литература**

1. **Осипенко О.Ю.** Развитие организационно-экономического механизма функционирования высокотехнологичных предприятий при внедрении цифровых технологий. // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2020.



*Е.А. Пехова, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ БАЛАНСА ИНТЕРЕСОВ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Современное экономическое пространство динамично и, как следствие, происходит несогласованность действий и ожиданий экономических агентов, а также несогласованность в работе механизмов реализации экономических интересов участников рынка [1].

В рамках работы были изучены интересы ключевых участников рынка энергетики при цифровизации, а также проанализирована научная литература на тему управления предприятием. В результате было выявлено следующее противоречие: цифровизация внедряется при функционировании существующей системы управления и устоявшихся интересах участников процесса, однако, сам процесс цифровизации меняет интересы, а значит традиционные модели не подходят для управления.

Решением проблемы является выявление новых интересов и методом их соблюдения будет моделирование. На основе разработанной модели выделены интересы при цифровизации: поставщики ресурсов заинтересованы в упрощении процесса закупок и появлении новых рабочих мест, организациям интересно увеличение доходности, регулируемым органам необходима развитая отрасль, активный потребитель заинтересован в снижении затрат на оплату энергии.

По результатам анализа, предлагается решение по внедрению цифровых технологий, обеспечивающее системный эффект в электроэнергетической отрасли: на ТЭЦ внедряется цифровой двойник для хранения большого объема информации об оборудовании. В части передачи электроэнергии (линии электропередач) устанавливаются датчики для мониторинга передаваемого количества электроэнергии, где с помощью Big Data компании собирают и обрабатывают информацию о динамике потребления, уровне платежей. Также потребитель становится активным.

По итогу проведенных расчетов можно сказать, что активный потребитель получает экономию в 14%, за счет снижения потребления с 575,4 кВт\*ч/мес. на 497 кВт\*ч/мес. Срок окупаемости составит 4 года.

Таким образом, применение данного решения позволит соблюсти как можно больше интересов участников процесса цифровизации и получить свою экономию.

### **Литература**

1. **Панюшкина Е.В.** «Некоторые аспекты реализации экономических интересов в цифровой экономике» — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-realizatsii-ekonomicheskikh-interesov-v-tsifrovoy-ekonomike/viewer>

*И.Г. Шувалов, асп.;*  
*науч. рук. Е.Ю. Абрамова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНОГО ЭФФЕКТА КОГЕНЕРАЦИИ НА УРОВНЕ РЕГИОНА**

Тригенерация (Trigeneration, ССНР — combined cooling, heat and power) — это процесс совместной выработки электричества, тепла и холода. Тригенерационный комплекс — это комбинация когенерационной установки (вырабатывающей электрическую и тепловую энергию), с абсорбционной холодильной машиной, вырабатывающей холод за счет потребления произведенной тепловой и незначительного количества электрической энергии.

Безперебойность! (поставок газа следовательно и всех остальных) тригенерационный центр позволит сократить число поставщиков энергии до одного — поставщика газа. Исключив закупку электроэнергии и тепла, можно, прежде всего исключить любые риски, связанные с перебоями в энергоснабжении.

В соответствии с Конституцией РФ государство обязуется обеспечивать население страны в удовлетворении базовых потребностей. К ним можно отнести: питание, образование, здоровье, обеспечение безопасности от различного вида угроз (внешних и внутренних) и т.д. В связи с этим, все объекты, которые функционируют на выполнение данных задач, являются социально значимыми.

При систематизации факторов социальной значимости объектов федерального значения выявляется внушительный объем объектов, имеющих, в настоящее время высокие требования к содержанию их на современном уровне.

Применении когенерации (тригенерация) на объектах федерального значения позволит

- обеспечить требуемые параметры энергоснабжения
- повысить класс энергоэффективности объектов
- комплексное планирование нагрузок по видам энергоресурсов
- уменьшить затраты при реконструкции объектов
- перераспределить потребление энергоресурсов и изменить

Социальный эффект определяется как общий положительный результат, который получает общество (человек) как в процессе реализации применения когенерации (тригенерация) на объектах федерального значения так и при последующем использовании достигнутых результатов.

*Д.С. Попов, асп.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ КОММУНИКАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ЭТАЛОННЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ**

Тарифное регулирование в электроэнергетике в настоящее время сочетает в себе элементы рыночного ценообразования и жесткие методы государственного регулирования. Применение метода эталонных затрат, позволяющего нивелировать принятие несбалансированных тарифных решений, на текущий момент уже распространено на деятельность гарантирующих поставщиков и в ближайшее время будет распространено на операционную деятельность территориальных сетевых организаций (ТСО). При этом вопрос оценки эффективности внедрения данного метода регулирования с точки зрения изменения структуры бизнес-процессов является актуальным как для самих ТСО, так и для органов, осуществляющих государственное регулирование цен и тарифов в электроэнергетике (органы регулирования).

Особенностью функционирования современных ТСО и органов регулирования в течение продолжительного периода времени являлось статичное изменение условий внешней и внутренней среды. При этом ключевым фактором внутренней среды предприятия является его структура, состоящая из группы логически связанных друг с другом процессов.

Четкое представление о функционировании действующих бизнес-процессов и предварительное создание модели будущих процессов дает возможность устранить сбои в работе предприятия в перспективе кардинальных изменений условий среды и законодательства.

Процессное моделирование показывает структурное изменение и сокращение времени коммуникации бизнес-процессов ТСО и органов регулирования при внедрении метода эталонных операционных затрат. Происходит вовлечение инженерно-технических подразделений в процесс формирования тарифов. Наряду с ответственностью финансово-экономического блока появляется солидарная ответственность инженерно-технических подразделений ТСО за принятие обоснованных тарифных решений органами регулирования.

Таким образом, основу комплексной оценки эффективности применения метода эталонных операционных затрат для ТСО составляют, главным образом, методы анализа происходящих характерных изменений бизнес-процессов как одного из управляющих факторов, определяющих затраты.

*И.А. Маринцева, асп.;*  
*рук. Е.В. Сухарева, д.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ**

Предпосылки активного перехода России к низкоуглеродной экономике заложены в рамках энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [1]. Также активно декарбонизацию экономики страны подстегивает четвертый энергетический переход — отказ от ископаемого топлива в пользу возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Низкоуглеродная экономика подразумевает под собой снижение выбросов CO<sub>2</sub> на единицу вырабатываемой энергии, что неизбежно ведет за собой структурные изменения всей энергетической отрасли страны и ее модернизацию. Именно это является причиной некоторой инертности декарбонизации и сохранения в экономике развитых стран большого числа предприятий с высоким углеродным следом. Энергетическая статистика показывает, что по состоянию на 2021 год 82% от мирового энергопотребления обеспечивает именно ископаемое топливо. Нельзя не отметить, что при этом растет и доля ВИЭ, занимающих 13% в мировом балансе энергии [2], — это показывает хоть и медленный, но переход к мировой низкоуглеродной экономике. В России, при этом, доля ВИЭ является чрезвычайно низкой и составляет 17–18% при учете крупных ГЭС и всего порядка 1% без их учета.

Анализ возможности перехода энергетики России к низкоуглеродной экономике выявляет ряд проблем, одна из которых — отсутствие инструментов формирования цены на углерод внутри страны и, как следствие, низкое стимулирование проектов в области низкоуглеродной экономики.

В работе рассмотрен процесс выстраивания механизма формирования масштабной стратегии развития энергетики России в условиях перехода к низкоуглеродной экономике посредством увеличения доли ВИЭ на рынке электроэнергии.

### **Литература**

1. **Министерство энергетики РФ**, Энергетическая стратегия России на период до 2035 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 07.11.2022).
2. **British Petroleum**, bp Statistical Review of World Energy 2022 | 71st edition [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 07.11.2022).

*П.А. Горбачев, асп.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЛАНСОВ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ И ЕДИНЫХ КОТЛОВЫХ ТАРИФОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

На сегодняшний день, сводный прогнозный баланс является основным расчетно-плановым документом, по которому впоследствии живет как электроэнергетическая отрасль, включая генерацию, передачу и сбыт, так и все потребляющие электроэнергию отрасли промышленности, такие как нефтяная, газовая, металлургическая, химическая, легкая и т.д., а также сельское хозяйство и население. От того, насколько правильно закреплены принципиальные, базовые, расчетные модели в данном документе, зависит как бесперебойное энергоснабжение, так и баланс интересов всех участников электроэнергетического рынка.

В рамках исследования стало понятно, что проблемами являются как завышение плановых цифр субъектами рынка, что приводит к необходимости поддержания резервной мощности сетевыми компаниями, так и разный подход к расчету единых котловых тарифов «одноставочных» и «двухставочных» потребителей.

По результатам предварительных расчетов одним из основных направлений решения проблемы является совершенствование порядка определения величины заявленной мощности, используемой в целях установления тарифов на услуги по передаче электрической энергии, а также порядка осуществления потребителями расчетов за услуги по передаче электрической энергии.

В итоге, для минимизации разницы между плановой и фактической тарифной выручкой оптимальным решением должно явиться появление механизма ликвидаций расхождений расчетного числа часов использования мощности, определенного исходя из фактического объема оказанных услуг «одноставочным», «двухставочным» потребителям от среднего числа часов использования мощности по уровню напряжения, учтенного при расчете единого котлового тарифа.

Таким образом, на основании предложенного подхода к формированию баланса снижение резерва мощности может превысить 10–20% от существующего и позволит повысить точность расчетов единых котловых тарифов на 10–15%, что повлечёт за собой экономию на уровне всей энергосистемы страны, оцениваемой десятками миллиардов рублей ежегодно.

*А.А. Смыков студ.; рук. Д.В. Никифорова ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ САНКЦИЙ И ПОЛИТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В МИРЕ НА ЭНЕРГЕТИКУ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В условиях постоянно меняющейся мировой обстановки остро встает вопрос влияния изменений в политике на многие виды деятельности государства, это касается и энергетической отрасли в России. Важно учитывать возможности импортозамещения тех или иных видов продукции, без которых современную энергетику сложно представить. Рассмотрение данных вопросов наиболее важно, поскольку энергетическая отрасль является неотъемлемой частью цивилизованного мира и происходящие в мире процессы всегда отражаются на экономическом, технологическом и продовольственном аспектах.

После санкций 2014 г. в России появилась острая необходимость в недопустимости зависимости от импортного сырья и материалов. В вопросах импортозамещения всегда важно понимать, что это касается и национальной безопасности в целом, в энергетике понятия «импортозамещение» и задачи по обеспечению национальной безопасности страны связаны напрямую и так же жизненно важны для всех граждан.

Изменения в политической сфере жизни, во внешней политике Российской Федерации, приводят к необходимости перестраивать привычные методы работы и обеспечения энергетической отрасли. Всё это отражается и на экономических показателях в том числе. Меняющаяся мировая обстановка неизменно приводит к ограничениям в работе ключевых предприятий-поставщиков комплектующих, запчастей и материалов, а также к изменению стоимости ресурсов всего топливно-энергетического комплекса.

Влияние энергетических ресурсов, в особенности нефти, на политические и экономические отношения особенно хорошо видны на примере событий конца XX века. Помимо государств большую роль в энергетическом мире играют так же нефтедобывающие компании — организации, занимающиеся непосредственно поставками энергетических природных ресурсов на мировой рынок. В следствие чего можно заявить, что на данный момент энергетический мир представляет собой систему взаимодействия стран и нефтедобывающих компаний.

В связи с этим, требуется постоянно менять распределение денежных потоков как в энергетической сфере, так и внутри страны в целом для компенсации потерь на различных этапах функционирования всей энергетической отрасли.

*А.С. Таран, асп.; рук. Д. Э. Мусаева, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗВИТИЕ РЫНКА МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

В 2017–2018 гг. был завершен ввод основных генерирующих объектов в соответствии с программой ДПМ (договора предоставления мощности), разработанной еще на базе РАО «ЕЭС России». Этого было недостаточно для развития отрасли, так как значительная часть высоковольтных генерирующих мощностей к тому времени выработало один и более парковых ресурсов, требовалось в срочном порядке запустить процесс замены и модернизации наиболее изношенных энергоблоков и турбоагрегатов

Первые отборы проектов модернизации генерирующего оборудования тепловых электростанций были проведены после выхода соответствующей нормативной базы [1] в 2019 году и далее проводились ежегодно до 2021 года. Критерием отбора проектов модернизации стал показатель эффективности проекта — величина удельных совокупных затрат на производство электрической энергии, включающих в себя приведенные к единице выработки капитальные, переменные и условно-постоянные затраты. В процессе конкурсов стали отбираться проекты с наилучшим показателем эффективности.

Проведенный анализ результатов отборов показывает, что одним из основных существенных недостатков является получаемые априори преимущества для крупных энергоблоков ГРЭС (К-800, К-300), которые обусловлены эффектом масштаба производства, более равномерной загрузкой энергоблоков ГРЭС в течении года и, соответственно, высоким показателям КИУМ, что обеспечивает минимальные удельные затраты по сравнению с тепловыми электростанциями, на которых установлены турбоагрегаты мощностью от 50 до 250 МВт.

В настоящее время проведение дальнейших отборов проектов модернизации отложено на конец 2023 года. Для развития программы модернизации предложены механизмы совершенствования отборов, проведены экономические оценки и сформулированы предложения, в частности предлагается рассмотреть возможность выделения отдельной квоты для проектов модернизации ТЭЦ, что будет способствовать развитию когенерации, остающейся наиболее эффективным способом производства тепло и электроэнергии.

### **Литература**

1. **Постановление Правительства РФ** от 25 января 2019 № 43.

*И.А. Зайцев, студ.; рук. Д.А. Смирнова ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНЦЕССИОННОГО СОГЛАШЕНИЯ**

Для успешного усовершенствования социальной и экономической сфер в России на протяжении долгого времени развиваются механизмы эффективного взаимодействия частного капитала и государства, которые направлены на координацию усилий сторон и обеспечение учета их интересов. Взаимодействие государства и бизнеса осуществляется в различных формах и регламентируется официальными документами. Одной из таких форм является концессия.

Концессия (концессионное соглашение) — это форма партнерства государства и частного капитала, в ходе которого государство в целях повышения качества и эффективности использования государственной собственности привлекает частный сектор к выполнению отдельных публичных функций по владению и пользованию государственной или муниципальной собственностью на взаимовыгодных условиях.

В данной работе были проведены расчеты тарифа с помощью трех методов регулирования тарифов в сфере теплоснабжения, а именно:

- методом экономически обоснованных затрат (затрат);
- методом индексации установленных тарифов;
- методом обеспечения доходности инвестированного капитала [1].

По концессионному соглашению планируется изменение удельного расхода топлива (газа) на выработку 1 Гкал тепловой энергии со значения в 163,0 кг у.т./Гкал до 159,9 кг у.т./Гкал, а путем снижения потерь в распределительных сетях до 3% от расчетного отпуска тепловой энергии в сеть удастся добиться значимого снижения объема отпуска на 12,47%. По методу индексации и RAB методу получены значения необходимой валовой выручки на 2022 год регулирования. Каждое значение НВВ поделено на полезный отпуск тепловой энергии, тем самым получены значения тарифов для данного года и данного метода регулирования.

Тариф, установленный на 2021 год с учетом концессии, оказался ниже тарифа в этом же регулируемом году без учета. Такой же исход был и в регулируемом 2022 году. Можно сказать, что концессионное соглашение окажется эффективным. Тарифы на 2022 год с эффектом концессии и без, рассчитанные методом обеспечения доходности инвестированного капитала, корректно сравнить не удалось из-за особенностей расчета.

Проведя расчеты с/без учета концессии, можно заметить, что данный вид ГЧП является выгодным для обеих сторон договора.

### **Литература**

1. Федеральный закон «О теплоснабжении» от 27.07.2010 N 190-ФЗ.



*А.В. Федорова, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Проблемы прогнозирования объёмов потребления электроэнергии в условиях динамично изменяющейся среды приобретают особое значение. Точность прогнозов, оказывает влияние на устойчивый режим работы всей электроэнергетической системы, эффективность решений по управлению энергопотреблением, возможность экономии энергоресурсов и в целом экономическую устойчивость самого предприятия. От точности прогнозов почасового электропотребления зависят важные параметры энергосистемы: себестоимость производства тепловой и электрической энергии, степень загрузки генерирующих мощностей, их коэффициент полезного действия [1].

В работе проведено исследование проблем прогнозирования электропотребления; методов и инструментальных средств прогнозирования взаимосвязей в энергетике. Проведены расчеты для нескольких регионов РФ, статистическими методами определена связь потребления электроэнергии и тепла от пяти метеорологических факторов: температура, сумма выпавших осадков, давление, скорость ветра и влажность. Отмечено неравномерное распределение темпов изменения показателей потребления электроэнергии для различных регионов. Выявлено, что в некоторых регионах степень корреляции значительно отличается, например, от температуры от 0,55 до 0,9. Проведены оценки и причины, которые обуславливают полученный результат.

Проведены оценки взаимосвязи потребления электроэнергии субъектами региона и социально-экономических факторов, в результате выявлено, что самая сильная корреляция связана с потреблением домашних хозяйств, ВРП, инвестициями в основной капитал, уровнем урбанизации. С учетом выявленных взаимосвязей построены модели прогнозирования потребления электроэнергии для различных категорий потребителей регионов РФ. Получены статистически значимые оценки параметров моделей, которые были апробированы на основе ретроспективного анализа, что показывает высокие прогностические свойства и дает возможность интерпретировать результаты.

### **Литература**

1. **Изотов, А.Б.** Повышение точности планирования закупаемого энергосбытовым предприятием объема электроэнергии / А.Б. Изотов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 44 (334). — С. 79–87.

*С.А. Циркевич, студ., рук. Д.А. Фрей, к.э.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ПО ПОЛНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЦЕПОЧКЕ**

Под энергосбережением мы понимаем реализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, а также на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Актуальность темы исследования обусловлена угрозами глобального потепления и потенциального истощения ископаемых ресурсов.

Целью работы является оценка стоимости водорода по полной производственной цепочке для определения целесообразности его использования как источника для энергоснабжения. Оценка стоимости производства водорода является актуальным направлением научных исследований [1], [2], однако условия его использования столь разнообразны, что на текущем этапе исследований оценки носят укрупненный характер, в том числе в части топливных затрат и цены электроэнергии, необходимой для производства водорода, которая существенно варьируется от региона к региону.

При расчете стоимости предлагается взять за основу все ключевые процессы и компоненты, используемые при производстве водорода с помощью ветровых и солнечных электростанций, атомной энергии, паровой конверсии метана. Предлагается сравнить между собой способы производства водорода с точки зрения стоимости конечного продукта, негативного воздействия на окружающую среду, и определить наиболее экологичный способ получения водорода, наименее затратный способ получения водорода в зависимости от доступности источников энергии в различных регионах РФ.

Для этого были проанализированы производственные цепочки по выбранным способам получения энергии, отметим, что для уточнения экономических оценок должны быть тщательно изучены технологии и конкретизированы условия энергоснабжения производства водорода. На основе полученных результатов необходимо провести сравнительный анализ, позволяющий определить целесообразность использования водорода в различных условиях, возможно определить необходимые инновации, которые могли бы поспособствовать его применению.

### **Литература**

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности: федеральный закон от 23.11.2009 № 261; в ред. от 14.07.2022 — ст. 2.
2. Д.Г. Стариков, Д.В. Вдовенко Успехи в химии и химической технологии // Прогнозирование стоимости водорода — 2012. — С. 70–73.

*Г.А. Шиманов, студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НОВЫХ СТРОЯЩИХСЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЖК «ПРИГОРОД ЛЕСНОЕ»**

В настоящее время каждый строящийся объект нуждается в энергоснабжении. Высокие офисные здания, многоэтажные жилые дома, помещения промышленных предприятий, практически все постройки в настоящее время постоянно снабжаются теплом и электроэнергией. При выборе вариантов следует учитывать не только технические аспекты, но и результаты экономического обоснования выбираемых объектов.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) — является важной частью инвестиционного цикла, включающего три составляющие — прединвестиционную, инвестиционную, производственную. Находясь на прединвестиционной фазе ТЭО закладывает основу для дальнейшего экономического анализа инвестиционного проекта [1].

Экономический анализ должен состоять из следующих этапов:

- 1) технико-экономическое сопоставление вариантов инвестиционных решений на основе методов экономической оценки;
- 2) обоснование экономической реализуемости (финансовой состоятельности) рекомендованного варианта;
- 3) финансовый анализ (оценка влияния изменения внешних факторов на показатели проекта).

Целью данной работы является проведение экономического анализа на основе обязательной нормативной базы (цены на топливно-энергетические ресурсы, оборудование и материалы, стоимости монтажа и прочих услуг, тарифов и пр.) [2] с выбором варианта схемы энергоснабжения для обеспечения тепловой энергией района ЖК «Пригород Лесное» [3].

По результатам проведенных расчетов можно оценить срок окупаемости проекта, что позволит сделать вывод об экономической эффективности использования выбранного варианта схемы теплоснабжения района ЖК «Пригород Лесное».

### **Литература**

1. Экономика промышленности: Учеб. Пособие для вузов. — В 3-х т. Т 2. Экономика и управление энергообъектами. Кн. 2. РАО «ЕЭС России». Электростанции. Электрические сети / Н.Н. Кожевников, Т.Ф. Басова.
2. Схема теплоснабжения Ленинского городского округа Московской области на период с 2021 до 2040 гг. (разработка) Книга 1–18. [Электронный ресурс] // [www.adm-vidnoe.ru](http://www.adm-vidnoe.ru)
3. **Зарубин С.Н.** Качественное проектирование тепловых сетей — основа надёжной работы системы теплоснабжения [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. — 2019. — N 4. — С. 26–29.

*Д.С. Кузьминов, асп.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

В современных условиях развитие конкурентоспособности предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является одной из основных задач отрасли. Анализ конкурентоспособности имеет определяющее значение для функционирования отрасли, т.к. на основании него повышается эффективность работы предприятия, определяются модели и методики дальнейшего направления развития, производится корректировка деятельности предприятий, входящих в отрасль ТЭК.

Существует несколько факторов, определяющих уровень конкурентоспособности предприятий, входящих в ТЭК как на территории РФ, так и за рубежом [1]. Но в настоящее время в мире нет единой базы факторов и моделей оценки, определяющих конкурентоспособность компаний ТЭК. Существует ряд второстепенных критериев, влияющих на конкурентоспособность отрасли ТЭК, не получивших достаточное освещение и проработку, таких как: дефицит квалифицированных кадров, отсутствие внедрения инноваций и наилучших доступных технологий, проблемы с использованием зарубежного оборудования и отсутствием отечественных аналогов. Особо остро это ощущается в связи с внедрением мировой политики санкций [2] и отсутствием поставок технологического оборудования и комплектующих взамен устаревающей ресурсной базы предприятий ТЭК.

Целью работы является сбор аналитической информации о существующих подходах в оценке конкурентоспособности компаний ТЭК в мировой практике, формирование совокупности факторов, определяющих конкурентоспособность предприятий ТЭК. На основании полученного массива данных будет разработана модель оценки конкурентоспособности предприятий ТЭК в современных условиях их функционирования, которая будет апробирована на действующем в РФ предприятии ТЭК.

### **Литература**

1. Энергетика в современном мире: учебное пособие / под общ. ред. М.Е. Родионова, П.С. Селезнева, И.В. Юшкова, С.П. Митраховича. — Москва: КНОРУС, 2019. — 424 с.
2. ТЭК России в условиях санкционных ограничений / Энергетические тренды, 2022. № 106.

**Направление VIII**

**ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**И ТЕПЛОФИЗИКА**

**Nuclear energy and thermophysics**

---

**Руководитель направления:**

Директор института тепловой  
и атомной энергетики НИУ «МЭИ»,

д.т.н., член-корр. РАН

Дедов Алексей Викторович

**Секция 39**  
**АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**  
**И УСТАНОВКИ**  
**Nuclear power plants and installations**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Аникеев Александр Викторович*

*Секретарь секции: к.т.н. Каверзнев Михаил Михайлович*

*И.А. Никитченко, асп.;*  
*рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА РЕАКТОРА ВВЭР**

При расчетах на прочность оборудования АЭС широко используются расчетные коды и программные комплексы. Во всех расчетных программах используются различные эмпирические модели и методы, что приводит к погрешностям расчетов и требует учета неопределенности этих параметров. Такой подход широко используется в теплогидравлических кодах [1]. В кодах, используемых для расчетов на прочность, также существует неопределенность и необходим её учет, посредством анализа неопределенности (АН). По результатам АН можно определить чувствительность результатов расчетов, к погрешностям исходных данных.

В данной работе рассматривался расчет на прочность корпуса реактора ВВЭР при заводских гидротестированиях и применены методы анализа неопределенности и анализа чувствительности к расчетам на прочность. Расчеты проводились с использованием расчетного кода ANSYS Mechanical [2]. Для моделирования диаграммы растяжения использовалась диаграмма билинейного кинематического упрочнения, в соответствии с [3]. После выполнения референтного расчета, на основе свойств материала приведенных в [3], проводился АН и анализ чувствительности (АЧ). Вероятностное распределение исходных данных полагалось нормальным. Используемый метод АН схож с подходом, приведенным в [1]. В ходе проведения анализа были определены толерантные интервалы расчета. Показано, что 95% толерантный интервал может значительно отличаться от результатов референтного расчета. АЧ позволил выявить наиболее влияющие параметры, уточнение которых, позволит сузить толерантный интервал. Данный метод может использоваться для других сценариев нагружения корпуса реактора, например, запроектных аварий и для сравнения различных расчетных кодов.

### **Литература**

1. **Воробьев Ю.Б., Кузнецов В.Д., Мансури М.** Оценка влияния неопределённых факторов при анализе аварийных процессов на АЭС с ВВЭР, Теплоэнергетика № 9, 2006 г. — сс. 16–21.
2. Программный комплекс ANSYS Mechanical, версия 14.0. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 327 от 18.04.2013
3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86. — М. Энергоатомиздат, 1989. — 525 с.

*С.Ю. Воробьева, студ.;  
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТА РАДИОЛИТИЧЕСКОГО ВОДОРОДА В РУ ВВЭР-1000**

Опыт эксплуатации реакторных установок (РУ) типа ВВЭР показал, что в оборудовании первого контура могут образовываться взрывоопасные водородно-кислородные смеси и может происходить их детонация. Главным фактором появления водорода в РУ является радиолитическое разложение теплоносителя [1]. Для РУ ВВЭР-1000 расчет распределения водорода в контуре реактора в режиме ППР ранее никем не проводился.

Основной задачей исследования являлась разработка расчетной модели транспорта водорода в надзонной части реактора, что позволило бы определить места его накопления и выявить наиболее опасные с точки зрения водородной взрывоопасности места.

Расчеты проводились с использованием кодов вычислительной гидродинамики (CFD). В докладе рассмотрены задачи для двух режимов: расхолаживания и стояночного, расчеты были проведены на нескольких теплогидравлических моделях.

Первая модель — модель общего объема корпуса реактора, стержни СУЗ и внутрикорпусные устройства представлены в виде пористого тела при остальном геометрическом соответствии. Рассмотрена циркуляция теплоносителя в надзонной части реактора от нижней плиты блока защитных труб (БЗТ) до крышки реактора. Показана физичность моделирования на основе сравнения расчетных данных с проектными.

Во второй модели уровень теплоносителя принимался в районе средней плиты БЗТ, общее пространство модели: от средней же плиты до крышки реактора. Стержни СУЗ представлены как геометрические тела. Рассматривается задача конвекции, распределения водорода.

Третья модель — более подробное рассмотрение наиболее опасной зоны, уровень теплоносителя в районе верхней плиты БЗТ, общее пространство модели от верхней же плиты до крышки реактора. Также рассматриваются циркуляция теплоносителя и распределение водорода.

В результате расчетов были получены уникальные данные и выявлены места накопления водорода (в частности, в крышке реактора). Точность по невязкам основных уравнений сохранения поддерживалась порядка  $10^{-4}$ .

### **Литература**

1. **С.А. Кабакчи**, Математическое моделирование радиационного воздействия на водные теплоносители ядерных энергетических установок. М: НИЦ «Курчатовский институт», 2018, — 111 с.



*М.М. Бедретдинов, асп.;*  
*рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АВАРИИ С ПОТЕРЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ**

Согласно действующим нормативным документам РФ в области использования атомной энергии компьютерные коды, используемые при обосновании безопасности АЭС, должны быть установленным образом валидированы и аттестованы. Тем не менее, экспериментальные исследования, проводимые в целях валидации теплогидравлических кодов, были преимущественно направлены на исследование процессов в первом контуре РУ. В связи с этим, в данной работе проведена валидация одномерных теплогидравлических кодов КОРСАР/ГП и СОКРАТ/В1 для условий бассейна выдержки. По результатам пространственной дискретизации определены параметры расчетных моделей для получения наиболее точных результатов. Результатами расчетов показано, что максимальная погрешность по моменту начала оголения составляет не более 15% и не более 4% по моменту достижения максимальной температуры [1].

Согласно требованиям действующих нормативных документов РФ (пункт 1.2.9 [2]) в области использования атомной энергии, проведен анализ неопределенности. Показаны результаты расчетов с применением методики одновременного отклонения всех выбранных входных параметров сначала в наихудшую и затем в наилучшую сторону, которые покрывают полосу неопределенности в более широком диапазоне и дают консервативные значения границ полосы неопределенности. Такая оценка может использоваться при обосновании безопасности АЭС в аварийных режимах с потерей охлаждения БВ в дополнение к методам, рекомендованным РБ-166-20 [3].

### **Литература**

1. **Bedretdinov M.M., Stepanov O.E., Sledkov R.M., Schuster C.** KORSAR/GP and SOCRAT/V1 codes' validation for the loss of cooling at spent fuel pool conditions. — Nuclear Engineering and Design, 2021, vol. 375.
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001-15, ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2016, стр. 7.
3. Рекомендации по оценке погрешностей и неопределенностей результатов расчетных анализов безопасности атомных станций РБ-166-20, ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2020.

*В.С. Милитонова, студ.;  
рук. С.О. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛА ТОТ ПГ АЭС С ВВЭР**

Для АЭС с ВВЭР намечается тенденция отказа от выпарных аппаратов в системах специальной водоочистки первого контура и применение вместо них оборудования и технологии ионоселективной очистки растворов. Реализация данной технологии, в виде установки переработки трапных вод показала, что установка не способна очистить воду от ряда радиоизотопов (РИ), присутствие которых в установке не предусмотрено проектом.

Проведенный на АЭС поиск источников образования непроектных РИ показал, что их стабильные изотопы (СИ) поступают в теплоноситель первого контура (ТПК) из основных конструкционных материалов (КМ) оборудования первого контура, определяются их массовым содержанием в КМ, скоростью коррозии (выноса) и площадью контакта с ТПК. Основным источником поступления СИ в ТПК, обладающим наибольшей площадью поверхности контакта с ТПК является КМ теплообменных труб (ТОТ) парогенератора (сплав 08X18N10T).

На основе ГОСТа для изготовления КМ ТОТ был сформирован перечень СИ находящихся в составе данного КМ, массовое содержание которых не регламентируется ГОСТ. Из сформированного перечня выбраны СИ, которые могут образовывать РИ и проведена оценка их количества по всему объему КМ. Выполнен анализ физико-химических процессов происходящих при эксплуатации КМ ТОТ [1, 2] со стороны ТПК и проведена оценка скорости коррозии КМ (выноса СИ из структуры КМ).

В связи с тем, что ограничение массового содержания СИ в КМ, существенно увеличит их стоимость, а также на основании полученных результатов даны рекомендации о необходимости составления каталога СИ (материнских для РИ) содержащихся в основных КМ с целью их учета до применения технологии ионоселективной очистки растворов.

### **Литература**

1. **Жуков Р.Ю.** Предотвращение коррозии теплообменных труб парогенераторов действующих аэс с ввэр: автореф. дис.... кан. тех. наук / Жуков Р.Ю. — Подольск, 2016. — 22 с.
2. **Немытов Д.С.** Особенности коррозионных повреждений теплообменных труб парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 / Немытов Д.С., Тяпков В.Ф. // ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. — 2009 г. — Номер 7. — 70–74 с.

*А.С. Никулин, асп.; рук. В.И. Мелихов, проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ЧЕРЕЗ ПДЛ С ПОМОЩЬЮ КОДА FLOWVISION**

На кафедре АЭС разработан расчетный код STEG, предназначенный для моделирования движения пароводяной среды в объеме горизонтального парогенератора (ПГ) на основе подхода, использующего балансовые уравнения массы, импульса и энергии для воды и пара, дополненные полуэмпирическими корреляциями для описания силового и теплового взаимодействия фаз между собой и с окружающими конструкциями (трубные пучки, погружной дырчатый лист (ПДЛ) и т.п.). В целом код STEG качественно и количественно воспроизводит все основные процессы, характерные для горизонтального ПГ [1].

Так как модель сопротивления на ПДЛ получена исходя из эмпирических зависимостей, была поставлена цель обосновать модель с помощью проведения расчетов в CFD коде FlowVision [2], в котором заложены подходы «из первых принципов», то есть применение уравнений, непосредственно описывающих турбулентное течение двухфазной среды.

Для достижения поставленной цели была рассмотрена задача о течении пароводяной смеси через отверстие погруженного дырчатого листа (ПДЛ) с целью определения гидравлического сопротивления. При правоведении расчетов задавались следующие граничные условия: на входе в расчетную область задавался расход пароводяной смеси, на боковых границах области ставились условия симметрии, на выходе области — постоянное давление.

В результате расчетов определялось падение давления потока двухфазной среды на отверстии из-за сужения и расширения линий тока. Немаловажным результатом стало то, что наличие водяной пленки, обволакивающей острые кромки отверстия, снижает потери давления по сравнению со случаем течения чистого пара.

Итогом работы стало уточнение существующей модели и ее применение к более широкой области параметров, а также возможность применения код STEG для оптимизации конструкции ПДЛ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00793.

### **Литература**

1. **Мелихов В.И., Мелихов О.И., Ле Т.Т.** Экспериментально-расчетные исследования гидродинамических процессов в горизонтальном парогенераторе — М.: Наука, 2022. — 213 с.
2. **FlowVision.** <https://flowvision.ru>

*Д.А. Румянцев, Б.А. Кучеров, И.А. Николаев,  
А.Д. Злобина, студенты;  
рук. А.Е. Четвериков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПАТЭС. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ**

Данное исследование посвящено развитию ПАТЭС в России, как с точки зрения совершенствования проектных решений, так и с позиций использования блока для энергоснабжения объектов, удалённых от развитых энергосетей.

В рамках настоящей работы был проведён на примерах КЛТ-40С, CAREM (CNEA, Аргентина), АСР50S (CGNPC Китай) анализ мирового и отечественного рынков (в плавучем и наземном исполнении) в сегменте атомных станций малой мощности (АСММ).

Главной целью АСММ является снабжение электроэнергией изолированных регионов, объектов нефтегазовой промышленности, расположившихся на «большой» воде, и опреснения воды для прибрежных объектов. Успешному продвижению ПАТЭС будет способствовать оптимизация затрат на сооружение. Из анализа имеющей информации можно сделать вывод, что более 40% составляют затраты, которые зависят от условий площадки размещения и состава береговых сооружений.

С точки зрения возможного дальнейшего продвижения ПАТЭС на внутреннем рынке был выполнен анализ трёх сценариев:

- базовый, 3–4 ПАТЭС к 2035 году;
- негативный — с замедленным темпом развития технологий, снижение проектов до 3х с ЯЭУ серии КЛТ-40;
- позитивный — с ускоренным темпом развития технологий, 3-4 ПАТЭС с сокращённым сроком ввода с 2030 по 2033 год.

Критерии сравнения сценариев: экология, экономика, социология, технология, геополитика.

Тренд на развитие атомной энергетики возможен лишь при высоких скоростях развития отечественных технологий, иначе развитие получат альтернативные источники энергии.

В рамках сценариев выявлена актуальность ПАТЭС на прибрежных зонах и «большой» воде, ввиду их мобильности на данных участках и экономической привлекательности.

### **Литература**

1. Концепции «Развитие водородной энергетики в РФ» от 5 августа 2021 г. № 2162-р
2. **Проф. Л. Григорьев** Прогнозы спроса на уголь: видение 2019 Аналитический центр при правительстве РФ 28 с.
3. URL: [https://www.atomic-energy.ru/news/2021/04/09/113144\(01.07.22\)](https://www.atomic-energy.ru/news/2021/04/09/113144(01.07.22)) «Атомная энергетика в официальном реестре экологически чистых видов генерации».

*М.М. Балачков, асп.; В.О. Смыковская, студ.;  
рук. О.Ю. Долматов, к.т.н., доц. (ТПУ, г. Томск)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВАЦИИ НЕЙТРОНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ПЛАСТИКА МАРКИ HDPE

Вопрос обеспечения безопасности персонала и населения возникает при любом использовании ионизирующего излучения. Полиэтилен является эффективным замедлителем нейтронов и используется в защитных экранах. Из-за его высокой распространенности имеет смысл перерабатывать его для получения защитных материалов. Однако под воздействием излучения часть ядер вещества защиты может активироваться, что приведет к невозможности ее использования. Цель работы — активация нейтронным излучением экранов из вторичного полиэтилена и измерение их наведенной активности.

В полиэтилене присутствуют  $H^1$ ,  $D^2$ ,  $C^{12}$ ,  $C^{13}$ . При отсутствии в нём примесей его активность будет определяться только наработанными нуклидами  $T^3$  и  $C^{14}$ , а цепочки их наработки идентичны. Число ядер при активации описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\sigma_1 \cdot \Phi \cdot N_1; \frac{dN_2}{dt} = \sigma_1 \cdot \Phi \cdot N_1 - \sigma_2 \cdot \Phi \cdot N_2; \frac{dN_3}{dt} = \sigma_2 \cdot \Phi \cdot N_2 - \lambda_3 \cdot N_3, \quad (1)$$

где  $N$  — число ядер;  $\sigma$  — микроскопическое сечение радиационного захвата [1];  $\Phi$  — плотность потока нейтронов;  $\lambda$  — постоянная распада [2];  $t$  — время; индексы 1,2,3 —  $H^1$  и  $C^{12}$ ,  $D^2$  и  $C^{13}$ ,  $T^3$  и  $C^{14}$  соответственно.

Моделирование предсказывает отсутствие  $T^3$  и  $C^{14}$ , поэтому активность образцов, при отсутствии в них примесей, будет равна фоновой.

Методом горячего формования изготовлены 4 таблетки из HDPE толщиной в 1 мм и диаметром 2 см. После этого они помещались в 30 см от источника быстрых нейтронов (ИБН-10) в полиэтиленовой призме и выдерживались в течение суток. Далее образцы извлекались, и проводились измерения числа отчётов сцинтилляционного счётчика бета-частиц за 30 с.

Из таблицы 1 видно, что данные счета для фона и образцов совпадают в рамках погрешности. Из чего можно сделать вывод, что активации не произошло, т.е. активируемые примеси в образцах отсутствуют.

**Таблица 1.** Результаты измерений наведённой активности, имп. за 30 с

Фон	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
13,0 ± 4,6	13,0 ± 2,0	17,7 ± 2,1	13,0 ± 3,5	11,0 ± 2,6

### Литература

1. **Soppera N.** JANIS Book of neutron-induced cross-section. OECD NEA Data Bank, 2020. — 2524 p.
2. **Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др.** Физические величины: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.

*С.В. Белявский, асп.; С.П. Кудеев, студ.;  
рук. В.Н. Нестеров, к.т.н., доц. ОЯТЦ (НИ ТПУ, Томск)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМПАНИИ ТОПЛИВА РЕАКТОРА КЛТ-40С ПРИ ПОМОЩИ ПАКЕТА MCU-PTR

В работе проводилось моделирование кампании топлива малого модульного водо-водяного ядерного реактора КЛТ-40С при помощи пакета Monte Carlo Universal [1]. Посредством визуализатора MCU Office воссоздана детальная геометрия активной зоны. Проведены расчёты запаса реактивности, глубины выгорания, а также изменения нуклидного состава топлива (Таблица 1).

Продление кампании в данной работе предлагается реализовать путём замены дисперсионной топливной композиции ( $U^{235}-U^{238}$ )O<sub>2</sub> в силюминовой матрице на одну из трех перспективных дисперсионных композиции: ( $U^{235}-Th^{232}$ )O<sub>2</sub>, ( $U^{233}-Th^{232}$ )O<sub>2</sub>, ( $Pu^{239}-U^{238}$ )O<sub>2</sub> [2]. Также проводилось решение оптимизационной задачи по подбору внешнего диаметра твэла, обеспечивающего максимальную длительность кампании и глубину выгорания.

Результаты расчётов представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Параметры эффективности различных топливных композиций при проектном внешнем диаметре твэла (6,2 мм)

Параметр	$U^{235}+U^{238}$	$U^{235}+Th^{232}$	$U^{233}+Th^{232}$	$Pu^{239}+U^{238}$
Запас реактивности, отн.ед	0,2965	0,2957	0,3972	0,2838
Кампания, эфф.сут.	1150	1200	1550	900
Глубина выгорания, МВт·сут/кгТМ	110	115	155	90

Как можно видеть из приведенных в таблице 1 данных, замена делящегося изотопа на  $Pu^{239}$  не дает выигрыша ни в глубине выгорания, ни в кампании топлива. Замена воспроизводящего изотопа на  $Th^{232}$  даёт незначительный выигрыш в глубине выгорания и в кампании топлива. Наиболее эффективной топливной композицией является  $U^{233}+Th^{232}$ , так как даёт дополнительные 400 эфф.суток кампании и 45 МВт·сут/кгТМ глубины выгорания.

Исследование выполнено в рамках проекта Российского Научного Фонда № 22-29-00385 (<https://rscf.ru/project/22-29-00385/>)

### Литература

1. **Alekseev N.I. et al.** MCU-PTR program for high-precision calculations of pool and tank type research reactors // Atomic energy. — 2011. — Т. 109. — №. 3. — С. 149–156.
2. **Belavskii S.V. et al.** Effect of fuel nuclide composition on the fuel lifetime of reactor KLT-40S // Nuclear Engineering and Design. — 2020. — Т. 360. — Ном. статьи 110524.

*А.В. Аванов, асп.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ГЦТ АЭС С ВВЭР-1000 С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

В настоящее время для расчетов на прочность оборудования в атомной энергетике широко используются расчетные коды типа ANSYS Mechanical [1], реализующие метод конечных элементов. Коды данного типа базируются на различных эмпирических моделях и методах, имеющих погрешности и неопределенности, которые необходимо учитывать в результатах расчета. Для анализа неопределенности используется подход, сходный с подходом приведенным в [2].

В данной работе проводился расчет на прочность ГЦТ АЭС при одновременном воздействии давления гидроиспытания и сейсмических нагрузок, задаваемых линейно-спектральным методом, в соответствии с обобщенными спектрами из [3], для сейсмичности площадки в 9 баллов. Расчеты проводились с использованием кода ANSYS Mechanical [1]. Для моделирования диаграммы растяжения использовалась диаграмма билинейного кинематического упрочнения по [3], расчеты проводились в упруго-пластической постановке.

К данным расчетам были применены методы анализа неопределенности (АН) и анализа чувствительности. После выполнения референтного расчета проводился АН на основе формулы Вилкса[2] и вариации исходных данных. При генерации реализаций параметров их распределение принималось нормальным. Методом Монте-Карло генерировалось 100 наборов исходных данных, среди которых были свойства материалов, приведенных в [3]. В ходе проведения анализа были определены толерантные интервалы для результирующих величин. Показано, что среднее по интервалу может отличаться на 10 процентов от результатов референтного расчета. Анализ чувствительности показал, что наиболее значимыми параметрами являются, модуль Юнга и коэффициент Пуассона, уточнение которых, позволит сузить толерантный интервал.

### **Литература**

1. Программный комплекс ANSYS Mechanical, версия 14.0. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 327 от 18.04.2013.
2. **Воробьев Ю.Б., Кузнецов В.Д., Мансури М.**, Оценка влияния неопределённых факторов при анализе аварийных процессов на АЭС с ВВЭР, Теплоэнергетика № 9, 2006 г. 16–21 с.
3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 525 с.

*А.В. Фомин, асп.; Е.Д. Сокурено, студент;  
рук. Д.А. Горностаев, с.н.с.  
(НИЦ «Курчатовский Институт», г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА И ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ АЭС-2006 ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЖИМАХ С НАРУШЕНИЕМ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

При проектировании и эксплуатации АЭС возникает необходимость принятия определенных технологических действий в обоснование надежности, динамической устойчивости и безопасной эксплуатации энергоблоков. Наиболее эффективным способом решения такой задачи является разработка виртуальной модели (цифрового двойника), синхронизированной с рассматриваемыми физическими процессами и точно воспроизводящей алгоритмы управления.

В данной работе моделирование выполнено с помощью программного комплекса ТИГР-1 [1], предназначенного для расчетного анализа связанных нейтронно-физических и теплогидравлических переходных нестационарных процессов в РУ с реакторами ВВЭР.

Для возможности комплексного моделирования динамических процессов в объеме энергоблока авторами проведена модернизация математических моделей расчетного кода, а также выполнена интеграция в САПР SimInTech [2], предназначенной для реализации сложных алгоритмов АСУ ТП. По результатам доработок собрана полномасштабная (в объеме основных систем АЭС) модель энергоблока №1 Ленинградской АЭС-2. Выполнен расчетный анализ режима с отключением ГЦНА, показавший количественное совпадение изменений основных параметров энергоблока с архивными данными СВБУ.

Разработанная модель позволяет с высокой степенью точности в реалистичном подходе решать широкий спектр задач в объеме энергоблока: от экспертной оценки эксплуатационных алгоритмов управления при пуско-наладке до прогнозирования развития нештатных ситуаций при проектировании или эксплуатации АЭС.

### **Литература**

1. **Кууль В.С., Печенкин В.И. и др.** Программный комплекс ТИГР-1. Расчет нестационарных процессов в ЯЭУ с реакторами типа ВВЭР. Описание математических моделей. — М., 2000, — Инв. № 8880/00.
2. **Баум Ф.И., Ермак Т.В. и др.** Руководство пользователя графического редактора SimInTech. Создание пользовательского графического интерфейса для формирования исходных данных и визуализации результатов при расчетах по программному комплексу ТИГР-1. — М., 2022.



*М.А. Полевой, асп.;*  
*рук. А.В. Аникеев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»);*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА В УСЛОВИЯХ ПРОЕКТНЫХ И ЗАПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ**

Поглощающий элемент (ПЭЛ) в составе поглощающего стержня системы управления и защиты реакторной установки ВВЭР предназначен для быстрого прекращения ядерной реакции в активной зоне, поддержания мощности на заданном уровне и ее перевода с одного уровня на другой, выравнивания энерговыделений по высоте активной зоны и подавления ксеноновых колебаний. Для обоснования работоспособности ПЭЛ необходимо знать условия его эксплуатации.

Ранее для обоснования работоспособности ПЭЛ при проектных и запроектных авариях в качестве исходных данных принимались температурные условия тепловыделяющего элемента. Но, так как ПЭЛ находится в направляющем канале, то условия охлаждения тепловыделяющего элемента и ПЭЛ отличаются.

Так как одним из критериев, проверяемых в рамках анализов безопасности для новых проектов атомных станций, является проверка отсутствия плавления поглощающего элемента, то возникает потребность в определении температурного состояния ПЭЛ и выполнении анализа, позволяющего более реалистично определить изменения температуры ПЭЛ в аварийных процессах.

Анализ температурного состояния ПЭЛ проводится с использованием теплогидравлического расчетного кода КОРСАР\ГП. Данная работа выполняется отдельно для режимов с разгерметизацией и для режимов без разгерметизации первого контура со срабатыванием и без срабатывания аварийной защиты. Для режимов с разгерметизацией первого контура рассмотрен режим «Аварии с потерей теплоносителя при большой течи с отказом активной части системы аварийного охлаждения зоны низкого давления».

Данная работа показывает реалистичное температурное состояние ПЭЛ и его конструкционных материалов, а так же демонстрирует выполнение приемочных критериев, что свидетельствует об отсутствии плавления поглощающего материала и оболочки ПЭЛ при аварийных процессах. Результаты данной работы использовались при проектировании реакторных установок с ВВЭР-1200.

### **Литература**

1. **Васильченко И.Н., Кушманов С.А., Махин В.М.** Задачи исследований ПЭЛов для ВВЭР-1200. ВАНТ, серия «Обеспечение безопасности АЭС», выпуск 25, Реакторные установки с ВВЭР, 2009, с. 44–49.

*Т.К. Зырянова, А.Р. Маров, асп.; Н.С. Волков, соиск.;  
рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ С ПРЯМЫМ ДРОССЕЛИРОВАНИЕМ В СРЕДЕ ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

С 2017 года в НГТУ эксплуатируется уникальный экспериментальный стенд ФТ-4 НГТУ, созданный для испытаний моделей проточной части и подшипников скольжения ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300 с высокотемпературным свинцовым теплоносителем [1]. На нем был проведен ряд экспериментов, направленных на обоснование работоспособности различных подшипниковых узлов в среде тяжелого жидкометаллического теплоносителя (ТЖМТ).

Исходя из свойств ТЖМТ, в т.ч. несмачиваемости конструкционных поверхностей теплоносителем, создание гидродинамических сил невозможно. Это говорит о невозможности создания гидродинамического клина, вследствие чего можно сделать вывод о неприменимости гидродинамических подшипников в среде ТЖМТ.

Гидростатический подшипник с двойным взаимобратным щелевым дросселированием, установленный на стенде ФТ-4 НГТУ показал достойные результаты. Общий ресурс наработки подшипникового узла составил 1982 часа, при 405 циклах пуска останова. При проведении ревизии на поверхности гидростатического подшипника (ГСП) наблюдались задиры и вырывы металла, максимальный износ был в районе нижнего и верхнего края втулки вала [2].

На основе имеющегося опыта и полученных расчетных характеристик, для дальнейших исследований был выбрана модель ГСП с прямым дросселированием с 8 камерами, на замену ГСП стенда ФТ-4 НГТУ. Выбор обусловлен простотой конструкции и надежностью. Далее планируется проведение экспериментальных исследований выбранных моделей подшипников.

### **Литература**

1. **Безносков А.В.** Экспериментальные исследования трения и изнашивания подшипников скольжения в среде высокотемпературных свинцового и свинец-висмутного теплоносителей / А.В. Безносков, А.В. Назаров, А.А. Молодцов и др. // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. — Обнинск, 2007. — № 4. — С. 84–92.
2. **Маров А.Р.** Обоснование работоспособности модели гидростатодинамического подшипника с двойным взаимобратным щелевым дросселированием применительно к реакторным и стендовым контурам со свинцово-висмутным теплоносителем при температурах 200–350°С: магистерская дис.: 13.04.01 / Маров Александр Романович — г. Н. Новгород, 2019. — 72 с.

Ю.К. Жулина, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. А.С. Грязев, к. ф. -м.н. (НИЦ «Курчатовский институт»)

## АНАЛИЗ ВЗРЫВА ВОДОРОДА ПРИ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА-ДАЙТИ»

Обоснование водородной взрывобезопасности при проектировании и эксплуатации АЭС является важной задачей. Детерминистический анализ аварий на АЭС со взрывом водорода необходим для оценки возможных последствий, количественных и качественных. Эти данные необходимы для проведения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) блока и станции в целом.

Для оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций реакторного здания 1-го блока АЭС Фукусима-1 при воздействии взрыва водорода в программе ЗЕНИТ-95 [1] была создана конечно-элементная модель стен 4-го этажа (толщина стен 92 см, высота стен 6,9 м). Рассматривалось два варианта расположения центра взрыва. В модели не учитывалось оборудование внутри здания. В расчетах варьировалось значение эффективной массы (тротильный эквивалент) взрывчатого вещества (водорода, в данном случае).

С помощью программы ЗЕНИТ-95 были рассчитаны эквивалентные напряжения, возникающие в стенах 4-го этажа при воздействии на них воздушной ударной волны при взрыве водорода. Местоположения точек взрыва были определены как места возможного возгорания водорода — изолирующий конденсатор и подогреватель резервуара аварийной жидкостной системы регулирования [2]. Проведена оценка массы водорода, при которой нарушаются пределы прочности для конструкционных материалов (бетона и стали).

По результатам расчетов отмечено, что даже при относительно небольшой массе водорода (менее 10 кг) по сравнению с его общим количеством, образовавшимся на блоке в течение аварии (например, на энергоблоке 1 по данным [3] ~ 890 кг), в конструкциях могут возникнуть напряжения, превышающие как предел прочности на сжатие для бетона, так и предел текучести для стали.

### Литература

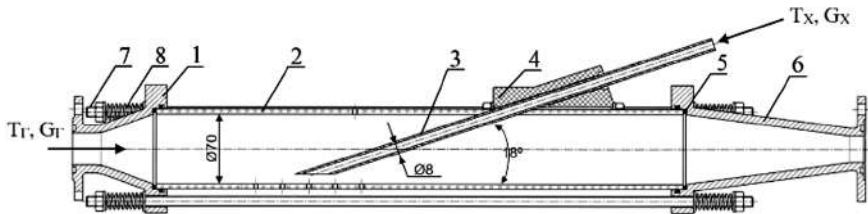
1. Программа «Зенит-95». Электронный ресурс: [www.ntp-dip.ru](http://www.ntp-dip.ru)
2. **N. Fujisawa, S. Liu, T. Yamagata.** Numerical study on ignition and failure mechanisms of hydrogen explosion accident in Fukushima Daiichi Unit 1. // *Engineering Failure Analysis*, V. 124, art. № 105388; 2021. — p. 105388.
3. **J. Yanez, M. Kuznetsov, A. Souto-Iglesias.** An analysis of the hydrogen explosion in the Fukushima-Daiichi accident. // *International Journal of Hydrogen Energy*, V. 40, 2015. — p. 8261–8280.

*Н.В. Мацин, асп.; А.И. Корочкин, М.А. Налепин,  
Ю.С. Гущина, студенты; А.Е. Соборнов, соиск.;  
рук. Р.Р. Рязанов, к.т.н.  
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОМ СМЕШЕНИИ ВСТРЕЧНЫХ ПОТОКОВ ОДНОФАЗНОГО ТЕПЛОСИТЕЛЯ В ТРОЙНИКОВОМ УЗЛЕ**

В рамках проекта АО «ОКБМ Африкантов» по созданию расчетной методики оценки влияния случайных термоциклических нагрузок на ресурсные характеристики материалов ядерных энергетических установок в НГТУ им. Р.Е. Алексеева на высокотемпературном стенде проводится экспериментальное исследование нестационарного температурного поля в зоне термосилового нагружения экспериментальной модели.

Для визуализации процесса неизотермического смешения был создан гидравлически замкнутый исследовательский стенд. Экспериментальная модель (рис. 1.) представляет собой тройниковый узел типа «встречный впрыск». Проточная часть модели выполнена из оргстекла и геометрически подобна натурному объекту исследования высокотемпературного стенда НГТУ. Коэффициент геометрического подобия  $K = 4/3$ .



**Рис. 1.** Экспериментальная модель: 1 — направляющий фланец; 2 — основная труба; 3 — периферийная труба; 4 — бандаж; 5 — прокладка; 6 — выходной фланец; 7 — шпилька; 8 — пружина

В ходе модельного эксперимента смешивались «холодный» (температура  $T_{\text{Х}}=20-25^{\circ}\text{C}$ ) и «горячий» (температура  $T_{\text{Г}}=70-75^{\circ}\text{C}$ ) потоки. Число Рейнольдса «горячего» потока поддерживалось постоянным  $Re=3,1 \cdot 10^4$ , «холодного» потока варьировалось в диапазоне  $Re=1,7 \cdot 10^3 - 2,8 \cdot 10^3$ . Визуализация процесса смешения осуществлялась путем инъекции в модель контрастного трассера. Впрыск трассера осуществлялся последовательно в четырех точках с последующей видеофиксацией.

Профили осредненного по времени поля температуры потока и интенсивности его пульсаций качественно и количественно совпадают с результатами исследований на высокотемпературном стенде НГТУ. Обработка фрагментов видеозаписи процесса смешения позволила получить пространственно-временные характеристики вихревых структур в зоне смешения.

*В.П. Иванов, И.В. Воробьев, студ.; Н.В. Мацин, асп.;  
А.Е. Соборнов, соиск.; рук. Р.Р. Рязанов, к.т.н.  
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород)*

## **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕГЕНЕРАЦИИ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ЯЭУ**

В процессе эксплуатации ЯЭУ рабочие среды подвержены загрязнению примесями, в качестве доминирующей фракции которых выступают частицы железа и его соединений. Поддержание чистоты рабочих сред, участвующих в технологическом процессе, возможно с применением магнитной фильтрации [1]. Научной группой лаборатории «Парогенерирующие системы» в НГТУ им. Р.Е. Алексеева создан прототип магнитогидродинамического фильтра на постоянных магнитах [2] и проведена оценка эффективности фильтрации частиц, подверженных магнитному захвату [1]. Опыт применения магнитных фильтров в составе систем водоподготовки водоохлаждаемых РУ выявил существенные сложности с гидровыгрузкой фильтрующих аппаратов, особенно в условиях наведенной радиоактивности отфильтрованной примеси. Таким образом, внедрение разработанного фильтра в системы водоподготовки связано с оптимизацией его конструкции, обеспечивающей эффективный и экономичный способ регенерации, исключающий разгерметизацию корпуса фильтрующего устройства, что актуализирует тему данной работы.

В работе представлена расчетно-экспериментальная оценка очистки проточной части фильтра с применением насадков различной геометрии (цилиндрический, конический). В результате численного моделирования процесса гидровыгрузки магнитогидродинамического фильтра, проведенного в расчетном CFD-коде Ansys Fluent, были получены величины гидравлических сопротивлений, вероятности задерживания частиц в проточной части фильтра, поля скорости, выявлены траектории движения частиц и выбрана оптимальная модель. Разработана конструкция исследовательского стенда и методика проведения экспериментального исследования процесса гидровыгрузки для расчетного режима работы фильтра в диапазоне чисел Рейнольдса от  $10^4$  до  $4,7 \cdot 10^4$ .

### **Литература**

1. **М.В. Треушников и др.** Расчетно-экспериментальное исследование магнитных фильтров на постоянных магнитах применительно к контурам водо-водяных РУ // Труды НГТУ, — 2020, № 1. — сс. 86–95.
2. **С.М. Дмитриев и др.** Магнито-гидродинамический фильтр // Патент на полезную модель № 197879. Заявка № 2020109882/05(016349) от 06.03.2020.

Ф.С. Шульжик, А.А. Пивоварова, студ.;  
рук. А.А. Лапкис, ст. преп. (Филиал НИЯУ МИФИ в г. Волгодонске)

## ВЛИЯНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ НА РИСК ОТКАЗА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ АЭС

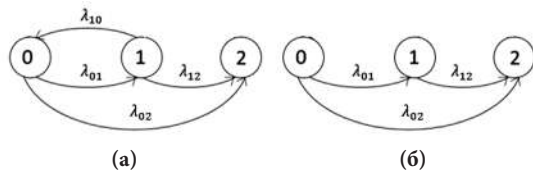


Рис. 1. Граф состояний, вариант, (а) с применением ТД, (б) без ТД

$\lambda_{01}, \lambda_{12}$  — показывают деградацию оборудования с течением времени.  $\lambda_{10}$  — ремонт.  $\lambda_{02}$  — показывает внезапный отказ оборудования

Повышение экономических показателей АЭС возможно за счет снижения затрат на проведение ремонта. Предлагаемый метод решения — внедрение риск-ориентированного подхода к планированию ТОиР. В работе рассмотрена количественная оценка риска отказа трубопроводной арматуры

(ТПА) АЭС с наличием и отсутствием корректирующего мероприятия — технической диагностики (ТД). По результатам диагностики возможно выявление фактического состояния подвижных частей ТПА [2]. Возможные состояния представлены на рис. 1, где 0 — полностью исправное, 1 — с ухудшением, 2 — неисправное состояние оборудования.

Из журнала дефектов Нововоронежской АЭС бл. № 5 были определены проблемные типоразмеры и интенсивности наиболее часто встречающихся отказов. Был проанализирован эффект применения корректирующего мероприятия на примере задвижки типоразмера Л11075. Применяв математический аппарат теории надежности, основанный на методе марковских цепей [1], составив системы дифференциальных уравнений для двух вариантов, получили итоговые вероятности нахождения ТПА в каждом из трех возможных состояний. Для проанализированного типа ТПА, подверженного частым отказам в кинематической цепи, техническая диагностика позволяет в 4,8 раза снизить риск отказа в межремонтный период.

В риск-ориентированной стратегии снижение объема ТОиР подобных типов ТПА, не показывающих высокий уровень надёжности, недопустимо.

### Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61165-2019 Надежность в технике. Применение марковских методов.
2. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 Методика «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры». — ОАО «Концерн Росэнергоатом». — Москва, 2010. — 140 с.

*Л.В. Цыхлер, С.А. Кот, Д.А. Голованов, студенты;  
А.А. Лапкис, ст. преп. (ВИТИ (Ф) НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск)*

## **ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЭТАЛОНОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ БЛОКА 2 НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС-2**

Для электроприводной арматуры (ЭПА) новых энергоблоков ВВЭР-1200 целесообразно составление набора эталонных диагностических сигналов в заведомо исправном состоянии с минимальным эксплуатационным износом для отслеживания динамики технического состояния [1].

НИЯУ МИФИ выполняет диагностику ЭПА НВОАЭС-2, решая важные технические задачи, которые совершенствуют методику и процесс выявления дефектов энергетических установок и их элементов.

Параметры, используемые при диагностике данного оборудования, определены по методике НИЯУ МИФИ МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 [2]:

1. Плавность хода на рабочем ходу штока;
2. Время выполнения операций открытие и закрытие, и разность  $dT$  между ними;
3. Форма огибающего токового сигнала, построенного методом среднеквадратичного значения (СКЗ);
4. Отношение величины пускового тока к рабочему.

ЭПА с одинаковыми приводами и типоразмерами объединены в типовые группы. В работе рассмотрены 9 распространенных групп. Для типовых групп получены точечные и интервальные оценки диагностических параметров с использованием распределения Стьюдента. По всем типовым группам границы доверительного интервала укладываются в пределы, установленные нормативно-технической документацией.

Таким образом, построены эталоны для 278 единиц ЭПА референтного блока ВВЭР-1200, относящихся к 9 типовым группам, в заведомо исправном состоянии с минимальным эксплуатационным износом, что позволит эффективнее отслеживать динамику диагностических параметров при сравнительном анализе.

### **Литература**

1. Д.В. Швец, И.А. Микшин, А.А. Лапкис, Е.С. Арсентьева «Контроль состояния регулирующей арматуры методом спектрального анализа» // Глобальная ядерная безопасность 2021 №2(39). — сс. 68–76.
2. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 «Диагностирование трубопроводной арматуры. Методика», НИИ «Энергомашиностроения», 2010. — 140 с.

*А.С. Мельникова, студ.; М.М. Балачков, асп.;  
рук. О.Ю. Долматов, к.т.н., доц. (НИ ТПУ, Томск)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАВЛЕНИЯ ФОРМОВАНИЯ**

Для эффективной защиты от нейтронного излучения необходимо сначала замедлить быстрые нейтроны, для этого можно использовать полиэтилен. Он содержит большое количество атомов водорода, ядра которых имеют большое сечение взаимодействия с быстрыми нейтронами [1]. Полиэтилен высокого давления (HDPE) очень распространен в быту, а значит, существует возможность переработки отходов из полиэтилена и дальнейшего изготовления защитных экранов из доступного и дешевого вторичного сырья.

Однако при переплавке полиэтилен может потерять некоторые свои свойства за счет разрушения полимерных цепей. Для легких ядер сечение взаимодействия с нейтронами зависит не только от их нуклидного состава, но и от энергии связи атома в молекуле [2]. Также эффективность взаимодействия нейтронов с веществом пропорциональна концентрации ядер, и, соответственно, плотности вещества.

Для оценки защитных свойств были изготовлены опытные образцы из вторичного полиэтилена методом горячего формования.

Измеренная плотность первичного полиэтилена составила  $(0,86 \pm 0,06)$  г/см<sup>3</sup>. Для того чтобы увеличить плотность вторичного материала было предложено приложить дополнительное давление на прессформу с помощью пресса ПЛГ-12.

Для изучения зависимости плотности вторичного полиэтилена от дополнительного давления на пресс-форму были изготовлены две партии образцов по 5 штук — при показаниях манометра пресса 5 МПа и 25 МПа. Плотность полиэтиленовых таблеток при давлении 5 МПа составила  $(0,890 \pm 0,015)$  г/см<sup>3</sup>, при давлении 25 МПа —  $(0,885 \pm 0,015)$  г/см<sup>3</sup>.

Из полученных значений можно сделать вывод, что плотность вторичного полиэтилена не увеличивается при большем давлении на пресс-форму, и, в целом, не зависит от этого давления. Такой результат эксперимента позволит упростить дальнейшие исследования защитных свойств экранов из вторичного полиэтилена.

### **Литература**

1. **Беспалов В.И.** Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: учебное пособие; Томский политехнический университет. — 5-е изд., доп. — Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. — 427 с.
2. **Бартоломей Г.Г., Бать Г.А.** Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 512 с.



*Д.А. Абрамова, асп.; рук. А.В. Аникеев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ АЭС**

Оптимизация параметров оборудования является одной из задач проектирования и расчетного обоснования АЭС, приводит к уменьшению приведенных затрат и улучшению экономики АЭС [1–2]. На данный момент не все оптимизационные задачи для ПТУ АЭС решены, в частности, отсутствует методика решения задачи комплексной оптимизации параметров ПТУ АЭС, получение оптимальных конструктивных решений по элементам и схемам установок с учетом их энергетической эффективности.

В настоящей работе рассмотрены основные методы оптимизации тепловой схемы ПТУ и проведено их сравнение, выделены основные упрощения и допущения при составлении математических моделей ПТУ. Была выявлена необходимость более точного учета зависимостей параметров от взаимовлияющих факторов и ограничений, накладываемых на оптимизируемые параметры, так как эти обстоятельства увеличивают количество оптимизируемых параметров.

Также было проведено сравнение влияния исследуемых параметров на мощность энергоблока ВВЭР-1500. Для этого с помощью программы СХЕМА были найдены оптимальные значения таких параметров, как начальное давление, температуры питательной и охлаждающей воды.

Результаты данной работы могут быть использованы при выборе способа оптимизации тепловой схемы паротурбинной установки АЭС.

### **Литература**

1. **Шамароков А.С.** Оптимизация минимальных температурных напоров в промежуточном перегревателе пара турбины АЭС / А.С. Шамароков, В.М. Зорин, С.В. Босенко // Теплоэнергетика. — 2020. — № 3. — С. 39–47.
2. **Клер А.М.** Эффективные методы схемно-параметрической оптимизации сложных теплоэнергетических установок: разработка и применение. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. — 145 с.

*С.А. Токарев, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «БАРБОТЁР» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ СКВОЗЬ ДЫРЧАТЫЙ ЛИСТ**

Недавние эксперименты, проведенные в ЭНИЦ, показали, что при достаточно больших объемных паросодержаниях под погруженным дырчатым листом (ПДЛ) перепад давления на ПДЛ становится ниже перепада давления, создаваемого потоком чистого пара такого же расхода. Было выдвинуто предположение о том, что причиной этого явления является влияние жидкой пленки, которая может образоваться на входной поверхности листа вследствие ударов капель и сглаживать острые кромки отверстий ПДЛ, вследствие чего могут уменьшаться потери давления на отверстиях. Проведенное в [1] численное моделирование в целом подтвердило это предположение. Тем не менее, для полноценного анализа явления весьма желательно проведение экспериментальных исследований, которые позволили бы визуализировать особенности течения двухфазной смеси сквозь отверстия ПДЛ и определить соответствующие количественные характеристики. С этой целью начата работа по подготовке и последующему проведению экспериментов на водо-воздушном стенде «Барботёр» (кафедра АЭС НИУ «МЭИ»).

В состав стенда «Барботёр» входят рабочий участок, измерительные преобразователи и средства автоматизации, автоматизированная система измерений. Рабочий участок имеет форму параллелепипеда с размерами 800x300x1000 мм с прозрачными стенками. В нижней части рабочего участка установлены три раздающих короба подачи воздуха, имеющие различную степень перфорации. В связи с ремонтом помещений кафедры, начавшемся в 2019 году, стенд «Барботёр» был демонтирован и находился на хранении более 3 лет в разобранном состоянии. Во время восстановительных работ было принято решение о модернизации моделей ПДЛ, устанавливаемых в средней части стенда. Новые модели ПДЛ обладают следующими параметрами перфорации: 0,3% (4 отверстия), 0,75% (10 отверстий), 1,3% (18 отверстий) диаметр отверстий 13 мм, толщина листа 6 мм, а также для наглядности процесса были разработаны модели с одним и двумя отверстиями. На текущий момент стенд собран, ведутся пуско-наладочные работы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00793, <https://rscf.ru/project/22-19-00793/>

### **Литература**

1. **Мелихов В.И. и др.** Исследование закономерностей течения пароводяной смеси через отверстия погруженного дырчатого листа при высоких паросодержаниях // Теплоэнергетика, 2018, № 1, С. 54–60.

*Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, студенты;  
Т.К. Зырянова, А.Р. Маров, аспиранты; Н.С. Волков, соиск.;  
рук. Т.А. Бокова к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПЛАВКОВО-ДИСКРЕТНОГО УРОВНЕМЕРА В СРЕДЕ ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОСИТЕЛЯ**

Реакторные установки с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) имеют свободный уровень теплоносителя из-за баковой компоновки [1]. Одной из важнейших проблем, которую необходимо решить, является определение уровня теплоносителя.

Наиболее распространенным прибором контроля изменения свободного уровня теплоносителя в стендовых контурах с ТЖМТ является электроконтактный датчик. Основной проблемой такого уровнемера является потеря герметичности в уплотнении чувствительного элемента.

Одной из возможных конструкций измерения уровня ТЖМТ является дискретный уровнемер на основе геркона [2]. Газовый объем такого уровнемера изолирован от газового объема контура ТЖМТ, что обеспечивает необходимую герметичность узла и установки в целом.

В НГТУ проводились эксперименты, в ходе которых подбиралась оптимальная конфигурация уровнемера, проводилась проверка работоспособности при разных температурных режимах. Выбран геркон марки МКА-14103 группы Б как наиболее термостойкий из доступных на рынке, а также имеющий оптимальную величину магнитодвижущей силы.

Результаты обработки экспериментальных данных подтверждают применимость данного метода контроля уровня жидкометаллического теплоносителя: устройство позволяет определить уровень теплоносителя с достаточной точностью и остается работоспособным в определенных температурных диапазонах. Устройство применимо для различных экспериментальных стендов с жидкометаллическими теплоносителями, работающими с ТЖМТ при температурах 210–230°C. При температурах 420–450°C происходят изменения магнитных свойств герконов, из-за чего наступает потеря работоспособности.

### **Литература**

1. **Безносков А.В.** Оборудование, компоновка и режимы эксплуатации контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике / А.В. Безносков, Т.А. Бокова. — Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. — 536 с.
2. **Поляев Г.В., Тельминов П.В., Цымбалист В.А.** Дискретный уровнемер / Патент на изобретение РФ 2193165 № 2001107906/28; Заявл.: 23.03.2001; Оpubл. 20.11.2002

*Д.К. Еремин, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. В.Е. Донников, Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **РАЗРАБОТКА ИСПАРИТЕЛЯ УСТАНОВКИ ОКИСЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ВОДЯНОМ ПАРЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ДО 1200 °С**

Одной из опасных аварийных ситуаций АЭС является авария с потерей теплоносителя, при которой протекает пароциркониевая реакция, приводящая к быстрому разогреву ТВЭЛов с охрупчиванием их оболочек. Для обеспечения безопасной эксплуатации ТВЭЛов проводят исследования влияния расхода пара и его температуры на данную реакцию. Большая часть исследований проводится в стендовых условиях на установках, воспроизводящих расход и температуру пара: до 120 г/ч и 1200 °С. Расход пара создается с помощью специального узла — испарителя. К пару в стендах предъявляются жесткие требования.

Для повышения качества экспериментов, проводимых на установке ВТИ, был создан новый испаритель с повышенным стабильностью поддержания расхода пара и расширенным диапазоном расходов.

Был проведен анализ работы испарителя, его конструкции и методики управления его нагревателями. С использованием математического моделирования был разработан и изготовлен новый испаритель более совершенной конструкции с улучшенными характеристиками.

**Таблица 1.** Расчетные характеристики испарителя

<b>Характеристика испарителя</b>	<b>Действующий</b>	<b>Созданный</b>
Объем воды, мл	100	1000
Время работы, м	60	630
Выход на режим, мин	30	5
Погрешность подачи пара, %	39	0,31

Сконструированный испаритель имеет увеличенный в 10 раз объем воды, что позволяет увеличить продолжительность непрерывной работы и длительность эксперимента. Кроме того, он обеспечивает большую стабильность пара и, как следствие, после модернизации установки позволяет повысить точность проведения экспериментов по окислению циркониевых сплавов.

### **Литература**

1. **Слободян М.** High-energy surface processing of zirconium alloys for fuel claddings of water-cooled nuclear reactors // Nuclear Engineering and Design. 2021. Т. 382. — 56 с.

*Г.А. Дубровин, А.А. Донских, студенты;  
рук. В.М. Зорин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПОРОВ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ ПЕРЕГРЕВАТЕЛЕ ПАРА ТУРБИНЫ И ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ АЭС**

Экономичность АЭС является важной характеристикой при ее проектировании и эксплуатации. Одним из способов повышения экономичности станции является оптимизация управляемых параметров.

Исследуемыми объектами в работе являются паро-паровой промежуточный перегреватель и подогреватели системы регенерации теплоты ПТУ АЭС, оптимизируемыми параметрами являются минимальные температурные напоры (ТН). Для оптимизации ТН применена методика [1], особенность которой заключается в получении результатов в виде зависимости минимальных ТН от комплексного параметра, включающего в себя: коэффициент отчислений от стоимости объекта; норматив дисконтирования; удельная стоимость электроэнергии в районе сооружения станции; удельная стоимость поверхности нагрева; коэффициент теплопередачи.

Критерием оптимальности решаемой задачи является изменение годовых расчетных затрат по станции в зависимости от изменения минимальных ТН по сравнению с вариантом, принятым за базовый. В свою очередь зависимости электрической мощности, температур на входе и расхода нагреваемой среды от оптимизируемых переменных находятся на основе рассчитанных вариантов методом наименьших квадратов. Проведенные расчеты показали, что минимальное число вариантов должно равняться  $2n+1$ , при условии, что зависимости близки к линейным, где  $n$  — число подогревателей системы регенерации или ступеней пароперегревателя. При увеличении этого числа на 1 среднеквадратичное отклонение почти не изменяется.

Таким образом была разработана программа, состоящая из 3-х частей: автоматический перерасчет  $2n+1$  вариантов тепловой схемы программой «СХЕМА», разработанная на кафедре АЭС НИУ «МЭИ»; составление аппроксимационных зависимостей для названных ранее параметров тепловой схемы методом наименьших квадратов; оптимизация минимальных ТН методом покоординатного спуска.

### **Литература**

1. **А.С. Шамароков, В.М. Зорин, С.В. Босенко.** Оптимизация минимальных температурных напоров в промежуточном перегревателе пара турбины. Журнал “Теплоэнергетика” № 3 АЭС © 2020 г. С. 39–47.

*Д.А. Торхова, студ.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)*

## **РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ АЭС**

Одним из способов выравнивания нагрузки в энергосистеме являются мощные аккумулирующие станции, например, ГАЭС, или активно развивающиеся в последние годы системы на основе литий-ионных (Li-Ion) аккумуляторов. Оба варианта весьма дороги.

Альтернативой может стать распределенная система аккумулирования (СА), представляющая собой систему отдельных электропотребителей, которые могут включаться/выключаться в периоды пониженной/пиковой нагрузки, играя, т.о., роль системы косвенного распределенного аккумулирования. Ее элементом может стать небольшой нагреватель с тепловым аккумулятором (ТА) для домашнего потребителя. По оценкам [1], для условий Великобритании такая система может иметь эквивалентную емкость более 70ГВт\*ч, не требуя, в числе прочих достоинств, инвестиций со стороны энергокомпании.

В настоящей работе рассмотрены ТА различных конструкций и состава теплоаккумулирующей среды [2]. В простейшем случае конструкция представляет собой теплоизолированный контейнер прямоугольной формы с теплоаккумулирующим наполнителем, электронагревателем и таймером включения/выключения.

Один из наиболее дешевых и удобных в эксплуатации вариантов наполнителя — талькохлорит. В данном варианте удельные затраты на единицу емкости составляют около 10 \$US/кВт\*ч, что на порядок ниже стоимости современных Li-Ion-аккумуляторов (около 150 \$US/кВт\*ч).

Стоимость СА, позволяющей накапливать 10% ночной выработки энергоблока ВВЭР-1000 (около 800 МВт\*ч) для случая Li-Ion-аккумуляторов составит около 120 млн. \$US только в аккумуляторной части, для случая распределенной системы — на порядок меньше. При этом затраты на покупку системы ложатся на пользователей, требуя от генерирующей компании, в простейшем варианте, только разумной тарифной политики, в более сложном — технологий Smart Grid, для пользователя — Smart Home. Для конечного пользователя система окупается, по оценкам, за один зимний сезон.

### **Литература**

1. **P.J. Boaita, J.R. Snapea, S.J. Darbyb, J. Hamiltonc, R.J.R. Morrisda**Institute. Making legacy thermal storage heating fit for the smart grid. // *Energy and Buildings* 138 (2017). — pp. 224–228.
2. **Abhay Dinker, Madhu Agarwal, G.D. Agarwal.**, Heat storage materials, geometry and applications /*Journal of the Energy Institute* 90 (2017) — pp. 630–640.

*С.А. Мильков, студ.; А.Р. Маров, асп.; Н.С. Волков, соиск.;  
рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ, Нижний Новгород)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА РЕФЛЕКС-РАДАРНОГО УРОВНЕМЕРА В УСЛОВИЯХ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО СТЕНДА СО СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

Ядерные энергетические установки (ЯЭУ) с тяжелым жидко-металлическим теплоносителем (ТЖМТ) требуют контроля уровня теплоносителя. Однако, параметры и специфика их работы сильно ограничивают в выборе средств для измерения и контроля уровня ТЖМТ.

Для этого коллектив авторов предлагает рефлекс-радарный уровнемер для ЯЭУ с ТЖМТ, как перспективное средство измерения, не имеющего аналогов в мире.

В данный момент уже проведены испытания прототипа уровнемера в условиях статической емкости [1]. Он представляет собой простейшую коаксиальную линию в виде зонда «труба в трубе». Измеряемая жидкость свободно заполняет межтрубное пространство зонда при погружении в измеряемую среду. На поверхность центральной трубы поступает сигнал высокой частоты от вторичной аппаратуры. Далее сигнал отражается от поверхности жидкости и идет по внешней трубе обратно на вторичную аппаратуру, которая измеряет время прохождения сигнала. Данное устройство показало достаточную точность.

На сегодняшний день создан опытный образец рефлекс-радарного уровнемера, работоспособность которого будет испытана на циркуляционном стенде в герметичной емкости. Данные испытания должны показать, будет ли данный уровнемер стабильно работать в условиях продолжительной циркуляции, вибрационных нагрузок, образующихся оксидных покрытий на конструкционном материале зонда. Также будут уточнены точность уровнемера и возможности по её повышению.

Данное устройство контроля уровня ТЖМТ может использоваться как для стендовых экспериментальных контуров, так и для реакторных энергетических установок, ускорительно-управляемых систем и термоядерных установок с ТЖМТ.

### **Литература**

1. **Мельников В.И., Бокова Т.А., Иванов В.В. [и др.]** Экспериментальное исследование микроволнового рефлекс-радарного уровнемера жидкометаллического теплоносителя // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2022. — № 1. — с. 79–89.

*К.С. Ковешников, студ.;  
рук. Е.В. Моисеенко, к.ф.-м.н. (Москва, ИБРАЭ РАН)*

## **ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ РАССЛОЕНИЯ РАСПЛАВА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА, РЕАЛИЗОВАННОЙ В КОДЕ ТИТАН-2**

При гипотетической тяжёлой аварии на АЭС с ВВЭР расплав активной зоны (а.з.) попадает в напорную камеру реактора, что приводит к проплавлению корпуса. Надёжная оценка времени проплавления и динамики выхода расплава из корпуса, определяющихся тепловыми потоками, зависящими от конфигурации ванны расплава, необходима для моделирования внекорпусной стадии аварии, в частности, обоснования функционирования устройства локализации расплава. Расплав в корпусе ( $\text{UO}_2$ , Zr,  $\text{ZrO}_2$ , сталь) расслаивается на несмешивающиеся металлическую и оксидную (тепловыделяющую) составляющие, в состав металлического слоя входит уран, частично восстанавливающийся из  $\text{UO}_2$ . В зависимости от концентрации урана металлический слой может иметь большую или меньшую плотность, чем оксидный, и располагаться выше или ниже.

Проведена валидация модели расслоения расплава, реализованной в модуле для моделирования расплава в корпусе реактора, входящего в состав расчётного кода ТИТАН-2. Код предназначен для мультифизического моделирования (теплогидравлика, нейтронная кинетика, разрушение а.з, поведение расплава в корпусе, транспорт продуктов деления) реакторных установок ВВЭР в режимах от нормальной эксплуатации до аварий, включая тяжелые. Модель основана на интерполяции и экстраполяции концентраций в слоях неокисленных урана и циркония, полученных в маломасштабных экспериментах MASCA STFM [1] при различных составах расплава. Приведены результаты валидации на среднемасштабных (около 2 кг расплава) экспериментах серии MASCA MA [1], в которых исследовалось взаимное расположение слоёв в зависимости от степени окисления циркония (32–100%) и количества стали (до 33% по массе). При валидации проводилось лишь качественное сравнение с экспериментом — проверялось расположение слоёв в расчёте — вследствие практической невозможности сравнения количественных параметров: данные о плотностях слоёв в жидком виде отсутствуют, а концентрация компонентов была крайне неоднородна по объёму слитков. Показано, что для всех исследованных вариаций состава имитатора материала а.з. модуль корректно определяет взаимное расположение металлического и оксидного слоёв расплава.

### **Литература**

1. **D.F. Tsurikov, V.F. Strizhov, S.V. Bechta, V.N. Zagriazkin, N.P. Kiselev.** Main Results of the MASCA 1 and 2 Projects. MASCA-2 Integrated Report, June 2007, viii + 156 pp.



*П.А. Кузнецова, студ.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)*

## **ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ МЮОНОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

Мюонография — активно развивающийся метод исследования внутренней структуры объектов, нашедший широкое применение и переживающий взрывной рост в 21 веке [1]. Мировую известность он приобрел после аварии на АЭС Фукусима, став единственным методом мониторинга скрытых разрушений активной зоны реактора и конструкций АЭС [2].

В данной работе был выполнен анализ возможностей метода мюонографии и представлены оценки его применимости для мониторинга оборудования АЭС в условиях нормальной эксплуатации.

Лос-Аламосская лаборатория (США) [3] провела ряд экспериментов по мониторингу бетонных образцов различной толщины (от 7,6 до 20,3 см). Результаты эксперимента показали, что мюонография позволяет различать образцы, отличающиеся по толщине всего на 2 см, за время порядка нескольких часов.

Анализ показал применимость метода для мониторинга состояния оборудования АЭС в условиях нормальной эксплуатации, в частности, для обнаружения отложений в недоступных напрямую наблюдению объемах теплообменного оборудования АЭС, например, забитых шламом областей трубного пучка парогенератора (ПГ) или областей отложений на оросительных поверхностях градирен.

Длительность операций мониторинга зависит от метода и задач исследования, характеристик объекта, наличия предварительных данных и может составлять от нескольких часов до нескольких месяцев [4]. По оценкам, забитые шламом области трубного пучка ПГ типа ПГВ объемом порядка нескольких куб. дм. могут быть обнаружены и локализованы за время порядка нескольких часов.

Т.о., операции мониторинга не скажутся на общей длительности планово-предупредительных ремонтов и могут быть выполнены за время расхолаживания оборудования.

### **Литература**

1. **G. Bonomi, P. Checchia, M. D'Errico, D. Pagano, G. Saracino.** Applications of cosmic-ray muons // *Progress in Particle and Nuclear Physics* 112 (2020) 103768. — 48 pp.
2. **Locating Fuel Debris inside the Unit 2 Reactor Using a Muon Measurement Technology at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.** /Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. — July 28, 2016. — 9 pp.
3. **J.M. Durham, E. Guardincerri, C.L. Morris, at all.** Tests of cosmic ray radiography for power industry applications // *AIP Advances* 5, 067111 (2015) — 9 pp.
4. **I.I. Yashin, at all.** Muon Tomography of Large-Scale Objects // *Physics of Atomic Nuclei*, 2021, Vol. 84, No. 6, pp. 1171–1181.

*Ф.Т. Морозов, асп.;*

*рук. А.В. Нахабов, к.т.н., доц. (ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ АЭС**

На сегодняшний день в мире уже остановлено более 180 блоков АЭС [1] и их количество с каждым годом только увеличивается. К 2030 году в Российской Федерации на стадии останова будет более 10 блоков АЭС из них больше половины будут находиться на этапе «ликвидации» блока АЭС.

Согласно результатам анализа применяемых технологий и зарубежного опыта [2], одним из способов существенного ускорения и удешевления работ по выводу из эксплуатации (ВЭ), сокращения дозовой нагрузки на персонал является применение робототехнических комплексов (РТС).

Результаты многофакторного сравнительного анализ показывают, что использование РТС позволяют сократить дозовые нагрузки на персонал при проведении работ по ВЭ (в отдельных работах до 10 раз), время проведения работ по демонтажу, фрагментации и дезактивации (на 10–45%), стоимость проведения работ по ВЭ.

Разрабатываемые в рамках работы программное обеспечение (ПО), алгоритмы и робототехнический комплекс (РТК) позволят: обеспечить безопасный доступ в труднодоступные помещения блока АЭС; анализировать и визуализировать в автоматическом режиме исходные данные, получаемые с помощью РТК; создать универсальную роботизированную платформу с возможностью установки дополнительного модулей. Создаваемое ПО и РТК будут отвечать критериям по импортозамещению в РФ. Одной из задач РТК будет проведение в автоматическом режиме лазерного сканирования и параллельного радиационного измерения с последующим их объединением.

Разрабатываемое ПО с помощью инструментов машинного обучения и работы с базами данных большого объема будет анализировать полученные данные и объединять их. Также, на основании полученной информации, в автоматическом режиме будет формироваться дорожная карта ВЭ исследуемого объекта (как по отдельным помещениям объекта, так и в целом), что будет являться элементом реализации проектного управления работами по ВЭ блоков АЭС.

### **Литература**

1. **И.И. Линге, А.А. Абрамов и др.** Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий — М.: ИБРАЭ РАН, 2017. — 189 с.
2. **Б.К. Былкин, И.А. Енговатов, Ю.А. Зверков и др.** Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций — М.: Издательский дом МЭИ, 2019. — 503 с.

П.А. Михайлова, Я.О. Комарова, студенты;  
рук. Н.Н. Ошканов, к.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

В классической теории решение уравнений динамики ядерных реакторов производят на модели точечного реактора [1, с. 5]. Интегрирование этих уравнений имеет приближенное решение [1, с. 35]

$$n/n_0 = \frac{\beta}{\beta - \rho} \exp \frac{\lambda \rho t}{\beta - \rho} - \frac{\rho}{\beta - \rho} \exp \frac{-(\beta - \rho)t}{\tau}, \quad (1)$$

где  $n$  — плотность нейтронов;  $n_0$  — плотность нейтронов при времени  $t = 0$ ;  $\beta$  — эффективная доля запаздывающих нейтронов;  $\rho$  — реактивность;  $\tau$  — среднее время жизни нейтронов.

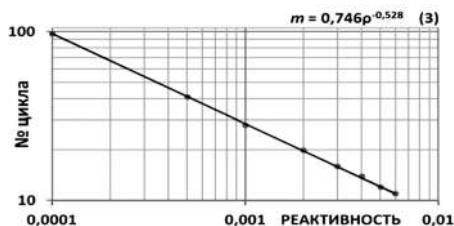
Нами проведено сравнение на примере максимальной длительности цикла  $\tau = 0,001$  с [1, с. 6] классического решения с точным решением [2, с. 39–45], полученным в представлении цепной реакции как последовательности нейтронных циклов и имеющим вид

$$n_m/n_0 = [k(1 - \beta)]^m + \beta \frac{1 - [k(1 - \beta)]^{m-1}}{1 - k(1 - \beta)}, \quad (2)$$

где  $k$  — эффективный коэффициент размножения нейтронов;  $m$  — номер цикла. Это позволило определить формулу границы применимости решений классической динамики (рисунок):

$$m = 0,746 \rho \exp(-0,528). \quad (3)$$

**ВЫВОД.** Решения классических уравнений динамики точечного реактора ограничены диапазоном от 10 до 100 циклов цепной реакции (максимум от 0,01–0,1 с) определяемым по формуле (3) в зависимости от реактивности, но не выше 100 циклов цепной реакции.



### Литература

1. **Д. Хетрик.** Динамика ядерных реакторов. Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1975.
2. **N.N. Oshkanov.** On Conformity of Classical Reactor Kinetics to Physics of a Chain Reaction. Conference Proceedings of SGEM2018, V.4.1.

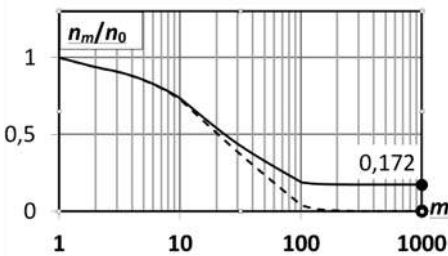
*М.А. Метельникова, Г.Е. Ваулин, студенты;  
рук. Н.Н. Ошканов, к.т.н, проф. (УрФУ, Екатеринбург)*

## ОЦЕНКА ВВОДА БОЛЬШОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ РЕАКТИВНОСТИ В ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Целью настоящего исследования является изучение отклика плотности нейтронов  $n$  на ввод большой отрицательной реактивности в точечной модели ядерного реактора на основе физики цепной реакции как последовательности циклов. В [1, с. 42–43] исследование отклика на ввод в такой реактор положительного скачка реактивности менее эффективной доли запаздывающих нейтронов  $\beta$  установило наличие саморегулирования мощности, которая с увеличением числа циклов цепной реакции  $m$  устанавливается на постоянном уровне

$$\frac{n_{m \rightarrow \infty}}{n_0} = \frac{\beta}{1 - k(1 - \beta)},$$

где  $k$  — эффективный коэффициент размножения нейтронов,  $m$  — число циклов цепной реакции. Настоящее исследование установило (на примере ввода реактивности  $(-5\beta)$  в такой реактор для длительности цикла 0,001 с), что также происходит саморегулирование мощности реактора, но на постоянном энергетическом уровне (0,172), а не снижении ее до нуля, как это следует из решения уравнения классической динамики реактора [2, с. 35–36] (рисунок). Показано,



что в отличие от ввода положительного скачка  $k$  этот эффект наблюдается при любой его величине.

В связи с этим, целесообразно провести дальнейшее исследование для установления физики этого явления, т.к. оно непосредственно связано с работой аварийной защиты реактора и процессом определения эффективности стержней СУЗ.

### Литература

1. **Oshkanov N.N.** On Conformity of Classical Reactor Kinetics to Physics of a Chain Reaction. Conference Proceedings of SGEM2018, V.4.1.
2. **Хетрик Д.** Динамика ядерных реакторов. Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1975.

*Я.А. Горбунова, студ. (НИУ «МЭИ»);  
В.Д. Локтионов, к.т.н. (НИУ «МЭИ», АО «ЭНИЦ»)*

## **РАСЧЁТ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОРПУС РУ ВВЭР ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В СЛУЧАЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ВАННЫ РАСПЛАВА**

Для обоснования возможности удержания расплава материалов активной зоны (АЗ) внутри корпуса реактора (КР) ВВЭР при тяжёлой аварии (ТА) [1] необходима оценка [1, 2] тепловых нагрузок, действующих на КР со стороны расплава кориума. Для оценки тепловых нагрузок на КР в работе разработана и используется программа «POOL\_Q-1», в которой для определения параметров теплообмена и тепловой нагрузки на границах ванны расплава используются модифицированные соотношения для чисел Nu [2]. Выполненный с помощью этой программы анализ теплового состояния расплава при различных его размерах и граничных условиях на его поверхностях показал значительное влияние неравномерности радиального распределения температуры в верхнем слое металлического расплава на величину тепловых нагрузок, действующих на КР и определяющих его целостность при ТА. Увеличение разности между температурами верхней и боковой поверхностей верхнего металлического слоя расплава на 150.. 200 К приводит к увеличению тепловой нагрузки на КР на десятки и более процентов, что необходимо учитывать при анализе ТА. Также, в работе представлено сравнение полученных результатов с аналогичными данными, полученными ранее [1]. Используемый в работе подход, на основе использования новых модифицированных соотношений для чисел Nu [2], является новым и ранее не использовался для оценки тепловых нагрузок на КР при ТА. Точность результатов, получаемых при использовании данного подхода, существенно выше по сравнению с традиционными подходами на основе использования известных соотношений для чисел Nu [1] при анализе тепловых нагрузок и процессов в расплаве кориума в течение ТА.

### **Литература**

1. **Theofanous, T.G., Liu, C., Additon, S., Angelini, S., Kymäläinen, O., Salmassi, T.**, 1996. In-vessel Coolability and Retention of a Core Melt. DOE/ID-10460. U.S. Department of Energy Vol. 1. p. 441.
2. **Локтионов В.Д., Мухтаров Э.С.** «Влияние условий теплообмена на граничных поверхностях подогреваемого снизу плоского слоя расплава металла на характер течения расплава в условиях естественной конвекции при высоких числах Рэлея применительно к решению проблемы удержания расплава внутри корпуса ядерного реактора при тяжелой аварии» / *Материалы Восьмой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 17–22 октября 2022 г.*: в 2 т. Т. 1 — М.: Издательство МЭИ, 2022. — с. 169–170.

*Т.Д. Демкина, А.В. Рязанов, Д.С. Доронкова, асп.,  
А.А. Добров, Д.В. Доронков, А.Н. Пронин, соиск.,  
рук. С.М. Дмитриев, д.т.н., проф.  
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВЫХОДНОМ УЧАСТКЕ ТВС РЕАКТОРА ТИПА РИТМ**

В 2022 г. универсальный атомный ледокол «Якутия», относящийся к серии ледоколов проекта 22220, был спущен на воду. На ледоколе установлены две реакторные установки РИТМ-200. Дальнейшее развитие судовые реакторные технологии получили в проекте атомной станции малой мощности (АСММ) с реакторной установкой (РУ) РИТМ-200С. Значительной отличительной особенностью кассетной активной зоны РУ является увеличение числа термометров сопротивления (ТСП) для контроля температуры теплоносителя на выходе из активной зоны. Неоднородность распределения теплоносителя в твэльном пучке может оказывать влияние на показания ТСП. Следовательно, необходимо проведения экспериментальных исследований процессов перемешивания в выходном участке топливной кассеты.

Исследования проводились на аэродинамическом стенде, где течение водяного теплоносителя моделировалось с помощью воздушного потока, основываясь на теории гидродинамического подобия [1]. Распределение осевой скорости потока в характерных сечениях определялось пневмометрическим датчиком с погрешностью не более 7%.

Основные результаты исследований: получено распределение осевых скоростей в характерных областях модели, определены области поперечного сечения кассеты, из которых происходит попадание потока теплоносителя в трубу отбора к ТСП, определена общая картина течения теплоносителя в выходном участке топливной кассеты. Наблюдается неравномерное распределения осевых скоростей на выходе из головки ТВС с тремя сливными окнами, зоны с низкими аксиальными скоростями сосредоточены у поверхности головки ТВС и трубы отбора к ТСП. На входе в верхнюю плиту наблюдается неравномерное распределение осевых расходов через сливные окна, что обусловлено конструкцией головки

Полученные результаты используются сотрудниками АО «ОКБМ Африкантов» при разработке новых конструкций активных зон АСММ.

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2021-0008).

### **Литература**

1. **Гухман А.А.** Введение в теорию подобия. М.: Высшая школа. 1973. — 296 с.

*А.Н. Сергеев, студ.; О.А. Сурганов, соиск.;  
рук. А.Г. Шастин, к.т.н., проф., С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф.  
(ФГАОУ ВО «УрФУ»)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЕЗАКТИВАЦИИ ПВК КАНАЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ АМБ

Эксплуатация реакторов АМБ привела к необходимости дезактивации высокорadioактивных пароводяных коммуникаций (ПВК).

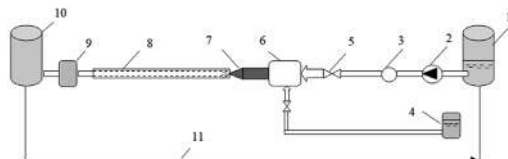
Химические методы дезактивации образуют большие объемы высокоактивных и химически агрессивных жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Физические же методы дезактивации позволяют переводить отходы в твердый, химически неагрессивный компаунд, который проще хранить и захоранивать.

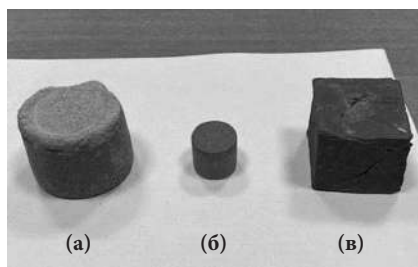
На рисунке 1 приведена принципиальная схема экспериментального стенда УрФУ для гидроабразивной дезактивации ПВК.

Дезактивация фрагментов ПВК этим методом менее чем за 1 час снизила уровень поверхностной активности более, чем в 10 раз. Использование диатомита в качестве абразивной добавки позволило после термообработки получить стойкие к выщелачиванию и радиационному воздействию керамические изделия с собранными в них РАО (рисунок 2).

На стенде также можно исследовать дезактивацию с одновременным применением гидроабразивной, химической и ультразвуковой технологий.



**Рис. 1.** 1, 10 — баки воды, 2 — насос, 3 — расходомер, 4 — абразив, 5 — задвижка, 6 — эжекционный насос-смеситель, 7 — сопло, 8 — фрагмент ПВК, 9 — фильтр, 10 — сборный бак, 11 — линия рециркуляции



**Рис. 2.** Фотографии: (а) — холодная диатомитовая керамика; (б), (в) — образцы горячей диатомитовой керамики полученные при разных температурах обжига

### Литература

1. Дементьев В.Н., Кадников А.А., Шастин А.Г., Щеклеин С.Е., Ярославцев Г.Ф. Способ дезактивации оборудования от поверхностных радиоактивных загрязнений // Патент на изобретение RU 2328785 С1, 10.07.2008. Заявка № 2006141101/06 от 20.11.2006.
2. Сурганов О.А., Шастин А.Г., Щеклеин С.Е. Метод дезактивации оборудования с применением ультразвука // В книге: Реакторные материалы атомной энергетики. Тезисы докладов межотраслевой научно-технической конференции. Екатеринбург, 2021. С. 31–32.

*М.Е. Попов, студ.;*

*рук. А.Г. Ильченко, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1200 С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ “ИМИТАТОР РЕАКТОРА”**

Программа «Имитатор Реактора» (ИР) (физическая модель Аверьянова С.П., Филимонов П.Е.; программная оболочка: Мамичев В.В.) является универсальным средством расчетного моделирования реакторов ВВЭР. Программа предназначена для расчетного моделирования алгоритмов оперативного управления реактором в нестационарных режимах работы, а также для использования на действующих АЭС в качестве программного средства информационной поддержки оператора.

С помощью программы ИР мной были смоделированы следующие процессы: набор мощности на начало кампании (0 эфф. сут.); сброс мощности; набор мощности на конец кампании (250 эфф. сут.) с дальнейшим гашением аксиальных ксеноновых колебаний; суточный режим работа реактора в режиме (50–100–50)% номинальной мощности в начале и конце его кампании.

Моделирование в программе “Имитатор реактора” позволяет получить начальное представление о принципах управления интегральной и локальной тепловыми мощностями реактора, а также о нестационарных процессах отравления реактора и об алгоритмах подавления аксиальных ксеноновых колебаний. Данная программа также может быть использована студентами «атомных» специальностей при изучении соответствующих разделов учебных дисциплин.

С точки зрения обучения интересен анализ графиков изменения различных параметров активной зоны и теплоносителя во времени. В частности, программа выдает изменение во времени концентрации борной кислоты в теплоносителе, а также значений аксиального офсета, концентрации ксенона, йода, самария и прометия (в том числе раздельно по верхней и нижней половинам активной зоны).

Обучаемый может в процессе моделирования вносить различные управляющие воздействия (в том числе с помощью органов регулирования системы управления и защиты (ОРСУЗ)). Это дает ему возможность наблюдать результаты этих воздействий (в частности он может наблюдать такие явления как стационарное и нестационарное отравление ксеноном, отравление самарием, ксеноновые колебания, «йодную яму») и проводить анализ качества ведения переходного процесса в реакторе.

Все вышесказанное свидетельствует об эффективности обучения с помощью данной программы.



*Е.А. Родыгина, студ.; С.Н. Потеряев, соиск.;  
рук. С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)*

## **ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРОВ ВВЭР**

На сегодняшний день известны различные методы для управления ядерной реакцией в реакторе во время его работы. Избыточная реактивность в реакторах необходима для компенсации отрицательной реактивности. Для компенсации избыточной реактивности могут использоваться различные подходы — наиболее распространенные (выгорающие поглотители, поглощающие стержни, борное регулирование) и менее известные (регулирование спектра нейтронов) [1]. В данной работе рассмотрены основные методы регулирования жесткости спектра нейтронов путем изменения отношения замедлителя к топливу (водо-урановое отношение), изменения соотношения легкой/тяжелой воды и изменения плотности теплоносителя.

Уменьшение количества замедлителя переводит спектр нейтронов в активной зоне в более жесткую область с двумя вытекающими последствиями: снижение сечения деления нечетных делящихся изотопов и увеличение сечения резонансного захвата  $U^{238}$ . Оба этих эффекта приводят к снижению размножающих свойств активной зоны, причем увеличение захвата  $U^{238}$  увеличивает накопление делящегося  $Pu^{239}$ . Таким образом, перевод топлива в начале времени выгорания в более жесткий спектр нейтронов, а к концу выгорания в более мягкий спектр позволит увеличить количество  $Pu^{239}$  участвовавшего в процессе деления. Расчеты показывают, что экономия расхода природного урана составляет 27% (по сравнению с ВВЭР-1000) и 20% (по сравнению с ВВЭР-1200). Таким образом, спектральное регулирование в процессе выгорания топлива реализует два эффекта:

- снижает величину необходимого запаса реактивности на выгорание топлива, за счет увеличения эффективности использования  $U^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ;
- компенсирует необходимый запас реактивности на выгорание топлива

В настоящее время эта технология разрабатывается для проекта реактора ВВЭР-С, предполагаемого к реализации в период до 2030 г.

### **Литература**

1. **Элазака А.И., Тихомиров Г.В.** Потенциал спектрального регулирования ВВЭР с учетом выгорания топлива // Известия вузов. Ядерная энергетика. — 2020. — № 2. — С. 27–38.
2. **Pendori Kl., Sehuit F., Biluemaun D.** Some neutron physical consequences of maximizing operated in the uranium-plutonium cycle // Nucl. Technology. 1982. Vol. 59. P. 256–269.

*Абди Хоссейн, асп.;*  
*рук. О.И. Мелихов, д. ф. -м.н., проф.(НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИКИ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ В СВОБОДНО ПОГРУЖЕННЫХ ПУЧКАХ ТРУБ С ПОМОЩЬЮ КОДА STEG**

Код STEG (STeam Generator) разработан для моделирования теплогидравлических процессов в горизонтальном парогенераторе [1]. Этот код использует нестационарную двухжидкостную трехмерную модель смеси воды и пара для моделирования теплогидравлических процессов. Валидация кода STEG была подтверждена по результатам нескольких экспериментов, но из-за сложности моделируемых теплогидравлических процессов и объектов все еще существует необходимость в валидации кода.

Комплексная экспериментальная работа по изучению гидравлики движения двухфазной среды применительно к условиям в парогенераторе была проведена Колбасниковым [2]. В частности, исследовались закономерности изменения объемного паросодержания и гидравлического сопротивления при поперечном обтекании пучков труб.

В данной работе эти процессы моделировались с помощью кода STEG. Был смоделирован прямоугольный канал размерами  $0,25 \times 0,5 \times 3,6$  метра. Внутри канала находятся пучок трубок, погруженный дырчатый лист и закраины, отделяющие подъемный участок циркуляционного контура модели от опускного. Пучок труб состоит из труб диаметром 16 мм, 57 рядов в вертикальном направлении и 10 рядов труб в горизонтальном направлении. Их геометрия и система зазоров такие же, как у натурального парогенератора ПГВ-1000. Дырчатый лист располагается на высоте 0,25 метра от верхней трубы. Подача воздуха в модели осуществляется в три секции по высоте трубы и имитирует процесс парообразования. Возможность использования водо-воздушного моделирования подтверждается результатами ранее проведенных сопоставительных исследований с воздухом и паром.

Результаты моделирования, выполненного программой STEG для различных расходов воздуха, хорошо согласуются с результатами, полученными в экспериментах Колбасникова.

### **Литература**

1. **Мелихов В.И., Мелихов О.И., Парфенов Ю.В.** Математическое моделирование теплогидравлических процессов в горизонтальном парогенераторе кодом STEG // Новое в российской электроэнергетике, 2008, № 8, с. 21–33.
2. **Колбасников А.В.** Разработка методов расчета гидродинамики двухфазной среды и теплообмена в поперечно омываемых поверхностях нагрева парогенераторов на основе экспериментальных исследований: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. — М.: ОАО ВТИ. — 2000. — 216 с.

*И.Н. Пирогов, студ.;*  
*рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ЧАСТОТ АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС С ВВЭР-1000**

Для расчёта частот волн давления, генерируемых в акустической системе, состоящей из реактора и присоединенных к нему четырёх петель, применен метод электроакустических аналогий, согласно которому система представлена в виде трёх резонаторов Гельмгольца.

Проведено сопоставление результатов расчета с данными измерений на действующих АЭС в пусковых и номинальном режимах. Установлено что акустическая система содержит ранее не идентифицированные источники акустических стоячих волн (АСВ), с которыми коррелируют частоты вибраций оборудования и внутрикорпусных устройств реакторной установки. Показано, что в номинальном режиме частоты АСВ существенно выше, чем в пусковом режиме. Получено удовлетворительное, для практического применения в шумовой диагностике, соответствие результатов расчета частот АСВ данным измерений, представленных автоспектральными плотностями мощности (АСПМ) сигналов от датчиков пульсаций давления. Показана возможность смещения частоты АСВ в область резонансного взаимодействия с ТВС (при изменении компоновки этой системы). Все пики АСПМ сигналов датчиков абсолютных перемещений и ионизационных камер, за исключением пика на оборотной частоте главного циркуляционного насоса равной 16,6 Гц, обусловлены АСВ. Следует отметить, что при отсутствии виброакустического резонанса колебания корпуса реактора и шахты, вызванные АСВ, незначительны и не влияют на оценку их остаточного ресурса.

Поскольку в нормативной документации не предусмотрена возможность усиления вибраций оборудования при возникновении виброакустических резонансов, сделан вывод о необходимости при оценке остаточного ресурса оборудования учитывать суммарную длительность этапов пусковых режимов при выводе реактора на номинальный уровень мощности, а также количество пусков (остановов) за весь период эксплуатации энергоблока.

### **Литература**

1. **К.Н. Проскуряков, С.К. Белова, А.В. Аникеев, И. Афшар** Разработка методики расчета частот акустических стоячих волн, генерируемых реакторами АЭС с ВВЭР. Глобальная ядерная безопасность. 2019-3(32) стр. 80–88.

*Н.Д. Урегани, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПЕРЕМЕШИВАНИЮ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА СТЕНДЕ СОУ КОДОМ OPENFOAM**

Одним из важных для безопасности РУ типа ВВЭР процессов является взаимодействие теплоносителя и борного раствора, подаваемого в первый контур системой САОЗ. Важность знания параметров теплоносителя в зонах перемешивания определяется тем, что возникающие при попадании холодной воды на металл термомудары могут представлять опасность с точки зрения, как циклической прочностности, так и хрупкого разрушения.

На кафедре АЭС НИУ «МЭИ» имеется экспериментальная установка СОУ, моделирующая опускной участок реактора ВВЭР [1]. Код OpenFOAM [2] был применен для анализа эксперимента № 15 на стенде СОУ, в котором холодная вода 17°C, поступающая в опускной участок со скоростью 2,36 м/с, смешивалась с горячей водой 72°C, находящейся в баке. Была построена расчетная сетка, включающая 813 852 ячеек. Расчеты проводились с использованием решателя buoyantBoussinesqSimpleFoam. Одним из неопределенных параметров задачи является коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности бака в окружающую среду, в расчетах использовалось два значения 10 и 20 Вт/(м<sup>2</sup>К). Также было изучено влияние модели турбулентности на решение, рассматривались две модели k-eps и k-omega. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных по различным группам термопар суммированы в таблице 1. Все варианты показали удовлетворительное совпадение с экспериментом. Наилучшее совпадение дал расчет с моделью турбулентности  $k - \epsilon$  и  $\alpha = 20$  Вт/м<sup>2</sup>К, для которого отклонение составило 2.35 К, что меньше погрешности измерений ( $\pm 3$  К).

**Таблица 1.** Среднеквадратичное отклонение расчета от эксперимента для групп термопар (ТП) (режим № 15, град. С)

Вариант расчета	На корпусе	В опуске	На поверхн. выгородки	Все ТП
$k - \epsilon$ и $\alpha = 10$ Вт/м <sup>2</sup> К	3.62	3.34	5.86	4.27
$k - \epsilon$ и $\alpha = 20$ Вт/м <sup>2</sup> К	1.08	1.58	4.39	2.35
$k - \omega$ и $\alpha = 20$ Вт/м <sup>2</sup> К	4.31	5.34	6.57	5.41

### Литература

- Никонов С. М.** Исследование гидродинамики воды САОЗ в опускном участке реактора ВВЭР. Отчет: НИР. МЭИ, Каф. АЭС. 2013. — 76 с.
- Sam Khaniani N.** Simulation of Flow and Heat Transfer with OpenFOAM.x. Iran, Tehran: Andishehsara, 2017. — 380 с.

*Сюй Хао, студ.; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПУСКНОГО УЧАСТКА И ЧЕТЫРЁХ ПЕТЕЛЬ ПЕРВОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000**

Для исследования причин генерации волн давления, в акустической системе, состоящей из опускного участка реактора и присоединенных к нему четырёх петель, применен метод электроакустических аналогий. Наличие отрицательного сопротивления в нелинейных динамических системах типа сопла приводит к самоорганизации хаотических турбулентных возмущений и генерации автоколебаний в виде акустических стоячих волн (АСВ). Выявлено, что режим течения теплоносителя в исследуемом объекте относится к зоне доквадратичного сопротивления. Число Рейнольдса для опускного участка реактора меньше чем для трубопроводов холодной нитки. Из-за этого величина гидравлического сопротивления  $\lambda$  по длине в опускном участке реактора меньше чем в трубопроводах холодной нитки и это является причиной возникновения отрицательного сопротивления при переходе теплоносителя из трубопроводов холодной нитки в опускной участок реактора. Показано, что при работе реактора в режиме, когда отключены одна или две петли 1-го контура, в участке перехода между трубопроводами холодной нитки и опускным участком также, как и в номинальном режиме, имеется отрицательное сопротивление. Выявлена пропорциональная зависимость отрицательного сопротивления от температуры теплоносителя. Определен перепад давлений в участке перехода между трубопроводами холодной нитки и опускным участком. При температуре теплоносителя 289°C перепад давлений в участке перехода меньше чем при температуре теплоносителя 230°C.

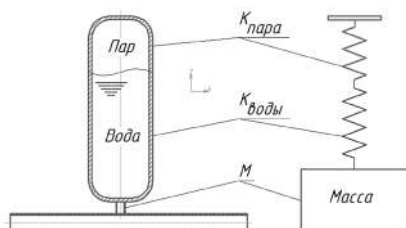
Определены площадь проходного сечения опускного участка реактора и диаметр внутрикорпусной шахты реактора, при которых выравниваются скорости теплоносителя в опускном участке реактора и в трубопроводах холодной нитки. При одинаковых скоростях теплоносителя в опускном участке реактора и в трубопроводах не возникает отрицательное сопротивление и, следовательно, автогенерации АСВ не происходит.

### **Литература**

1. **К.Н. Proskuryakov.** The Digital Acoustic Model of a Pressurized Water Reactor. Thermal Engineering, 2021, Vol. 68, No. 9, pp. 673–678.
2. **Чугаев Р.Р.** Гидравлика: Учебное пособие. М.-Л.: Энергия, 1982. 672 с.

Н.И. Сиваков, студ.;  
рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ГЕНЕРАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН КОМПЕНСАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ АЭС ВВЭР-1000



**Рис. 1.** Механический аналог КД  
К — константа упругости, М — масса

с сосредоточенными параметрами. Для расчета подобного резонатора был найден механический аналог (рис.1).

Результаты расчетов выявили влияние на частоту акустических стоячих волн (АСВ) генерируемых в КД отношения объема пара к объему воды. Показано, что при давлении в равном в КД АЭС с ВВЭР-1000 15,8Мпа, при различных отношениях объёмов частота АСВ принимает значения в диапазоне от 0,9 до 3,6 Гц. Было выявлено также, что в большой степени на частоту акустического резонатора в виде КД влияют диаметр и длина горла резонатора [1].

### Литература

1. Бахтин В.К., Гурбатов С.Н., Дерябин М.С., Клемина А.В., Курин В.В., Прончатов-Рубов Н.В. Исследование акустических характеристик резонатора Гельмгольца. // Практикум — Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2022. — 28 с.

Г.И. Скворцов, студ. ;  
рук. С.Е. Щеклеин, д.т.н., проф. (УрФУ, Екатеринбург)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНО-ИНЕРТНЫХ ТОПЛИВНЫХ МАТРИЦ В КОНСТРУКЦИЯХ ТВЭЛ

Для повышения безопасности АЭС предлагается перейти от контейнерного типа ТВЭЛов, возможности модификации которого практически исчерпаны, к дисперсионному типу ТВЭЛов на основе ураноемкого топлива [1].

В данной работе проведена оценка радиотоксичности продуктов деления активных зон реакторов на тепловых (ВВЭР, РБМК) и быстрых (БН) нейтронах с дисперсной конструкцией топлива в графитовой матрице [2].

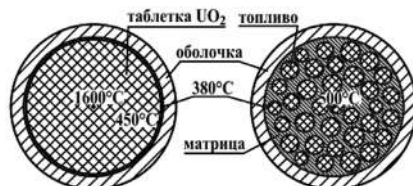
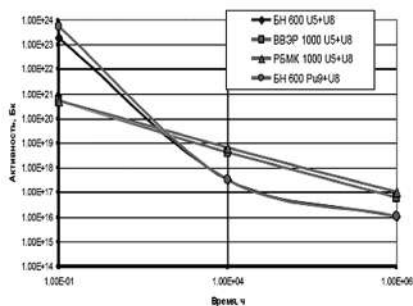
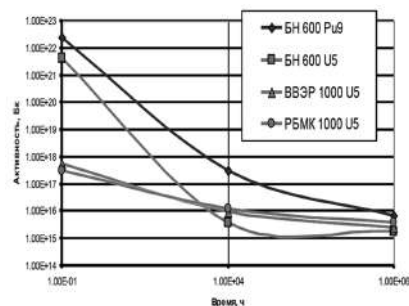


Рис. 1. ТВЭЛ с топливной таблеткой из диоксида урана (слева) и ТВЭЛ с ураноемким топливом с инертной матрицей (справа)



(а)



(б)

Рис. 2. Активность ПД с традиционной (а) и инертной (б) топливными матрицами

Заключение: Использование топливных композиций с инертными матрицами позволяет существенное снижение активности продуктов деления, особенно значительное для реакторов на тепловых нейтронах.

### Литература

1. Nuclear Engineering International Magazine // Nuclear Engineering International. News. Выпуск от 15.01.2020.
2. US atomic energy commission. // Meteorology and atomic energy. Washington, 1955.

Е.В. Становов, асп.; рук. А.В. Аникеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ АЭС С ВВЭР, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ РАСШИРИТЬ ДИАПАЗОН МАНЕВРИРОВАНИЯ

С середины 2000-х годов Системный оператор РФ (АО «СО ЕЭС») начал выдвигать требования к энергоблокам АЭС по обеспечению работы в режимах первичного регулирования частоты электрического тока в энергосистеме (ПРЧ) и следования за нагрузкой в энергосети [1].

Регулировании неравномерности суточных графиков нагрузки с диапазоном регулирования от 100 до 50 процентов номинального уровня мощности [2]. Основной проблемой является изменение мощности реакторной установки как в режиме разгрузки/нагрузки, так и частоты. Предлагается для снижения отрицательного эффекта минимизировать разгрузки/нагрузки реактора в режиме частотного регулирования и расширить «коридор» давления перед турбиной при режиме разгрузки/нагрузки. При этом за счет расширения диапазона давления пара перед турбиной проводить изменение электрической нагрузки в режиме частотного регулирования не меняя параметры реактора (см. рисунок).

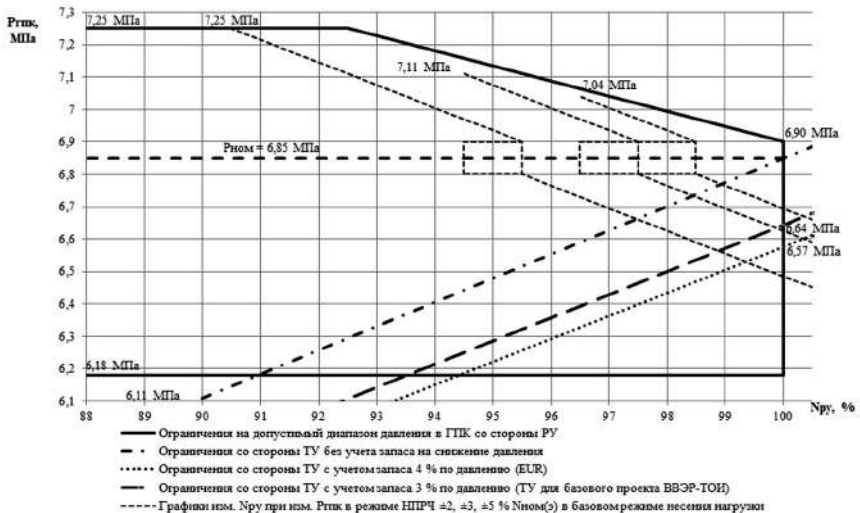


Рис. 1. Диаграммы изменения параметров при работе нового энергоблока проекта ВВЭР в режиме частотного регулирования

### Литература

1. АО «Системный оператор Единой энергетической системы» — <https://www.so-ups.ru/odu-center/odu-center-zone/> (дата обращения: 21.11.2022).
2. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года».



**Секция 40**  
**ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**  
**И ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**Problems of thermonuclear power engineering**  
**and plasma technologies**

---

*Председатель секции:*

*член-корреспондент РАН, д. т. н. Дедов Алексей Викторович*

*Секретарь секции: д. т. н. Лубенченко Александр Владимирович*

*Д.С. Лукьянцев, асп.;*  
*рук-ли: А.В. Лубенченко, д.т.н.,*  
*Д.А. Иванов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ОТ СЛОЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

В настоящее время метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии активно используется для проведения послойного фазового анализа ультратонких плёнок. Послойный фазовый анализ основан на модели однородных плоскопараллельных поверхностных слоёв [1]. Применение данной модели при исследовании достаточно гладкой поверхности показывает хорошие результаты [1]. Однако зачастую реальная поверхность образца неровная и может состоять из различных по форме и размеру наноструктур. Присутствие наноструктурных неоднородностей на поверхности плёнки при исследовании под разными углами зондирования приводит к появлению эффектов затенения поверхности, которые, в свою очередь, влияют на вид рентгеновского фотоэлектронного спектра [2]. Игнорирование этих эффектов при послойном фазовом анализе приводит к неточным результатам. Поэтому для проведения более корректного анализа поверхности плёнок с явными горизонтальными неоднородностями необходимо учитывать вид поверхности, характерные параметры поверхностных наноструктур и эффекты затенения поверхности.

В настоящей работе получена функция фотоэлектронной эмиссии от многослойной модели с учётом эффекта затенения поверхности. Неоднородный поверхностный слой представлен в виде одинаковых периодически повторяющихся наноструктур. Смоделированы рентгеновские фотоэлектронные спектры от неоднородных поверхностных слоёв плёнок для различных характерных параметров периодических наноструктур на поверхности при различных углах вылета фотоэлектронов с учётом эффекта затенения. По результатам моделирования получены зависимости отношения интенсивностей сигнала подложки и поверхностного слоя от угла вылета фотоэлектронов для различных характерных параметров наноструктур. Определены критерии применимости модели однородных плоскопараллельных поверхностных слоёв для послойного фазового анализа неровной ультратонкой плёнки.

### **Литература**

1. **Lubchenko A.V. et al.**, Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // J. of Phys.: Conf. Ser. IOP P. 2019. T. 1370. №. 1. С. 012048.
2. **Martín-Concepción A.I. et al.** Surface roughness and island formation effects in ARXPS quantification // S. and I. A. 2004. T. 36. №. 8. С. 788–792.

Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, К.А. Рогозин, студ.;  
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДА ЛЕНГМЮРА И ОПТИЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Высокочастотный разряд геликонного типа широко применяется для разработки космического плазменного двигателя, испытания материалов термоядерных установок и др., в связи с его большей эффективностью. Отметим техническую простоту данного источника плазмы, для их работы используются ВЧ-генераторы на промышленной частоте (13,56 МГц и 27,12 МГц), работающие на простых антеннах в присутствии слабого магнитного поля (от 0,01 до 0,2 Тл), низкое рабочее давление 0,1 до 50 Па, получаемая плазма имеет электронную температуру до 10 эВ и плотность до  $10^{20} \text{ м}^{-3}$ .

В данной работе, с помощью ВЧ-компенсированного зонда Ленгмюра получена функция распределения электронов по энергии (ФРЭЭ), определены плотность электронов, температуру электронов в зависимости от давлений [1]. Измерения проводились в диапазоне давлений 10–500 мТорр. На рис. 1 изображена принципиальная схема экспериментального стенда. Рабочий газ: аргон и гелий. Проведены оптические спектроскопические измерения интенсивности спектральных линий атомарного и иона плазмообразующего газа. Оценены плотность и температура электронов с помощью разных моделей описания состояния плазмы [2].

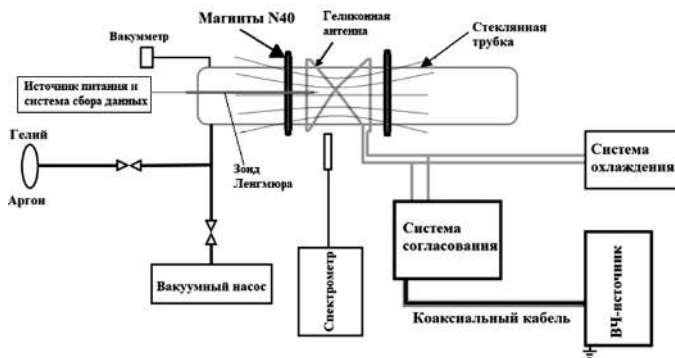


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда

Спектроскопическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 21-79-10281.

### Литература

1. M.A. Lieberman and A.J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (John Wiley & Sons, New York, 1994).
2. F. F. Chen, "Electric probes," in Plasma Diagnostic Techniques, edited by R. H. Huddleston and S.L. Leonard (Academic Press, New York, 1965).

*Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, К.А. Рогозин,  
В.С. Квасков, С.В. Белоусов, студенты;  
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф.(НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПЫТАНИЕ ОХЛАЖДАЕМОГО МАКЕТА НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМОВЫХ МОДУЛЕЙ ОБЛИЦОВКИ МОЩНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ**

Для тепловых испытаний разработанного охлаждаемого макета на основе вольфрамовых модулей облицовки, моделирующих плазменно-тепловые нагрузки более  $20 \text{ МВт/м}^2$  на поверхность дивертора в крупных токамаках [1], в работе использована электронно-лучевая установка.

Облучение электронным пучком поверхности по сетке из 20 точек. Ток пучка составлял 140 мА, ускоряющее напряжение 60 кВ. Плотность мощности  $21 \text{ МВт/м}^2$ . Охлаждение осуществлялось диспергированным водным потоком. В макете использованы форсунки с широким углом распыления.

Для контроля температуры вольфрамовых модулей и эффективности работы системы охлаждения в медные блоки макета были установлено 8 термопар типа хромель-алюмель (ХА). Температура поверхности макета превышала  $1000^\circ\text{C}$ .

При проведении эксперимента были проведены исследования влияния скоростей потока охлаждающих жидкости и газа на эффективность охлаждения. Экспериментально установлены оптимальные значения: давление жидкости, объемный расход воды, давление газа, объемный расход газа.

Экспериментально подтверждена возможность использования охлаждаемых макетов на основе вольфрамовых модулей в условиях импульсных нагрузок большой мощности. Длительность импульса испытания соответствует длительности импульса токамака, а плотность мощности  $21 \text{ МВт/м}^2$  соответствует плотности мощности в диверторной области токамака.

После оптимизации работы системы охлаждения, установлено, что, в условиях стационарной нагрузки макеты в состоянии выдерживать тепловые нагрузки с плотностью мощности более  $20 \text{ МВт/м}^2$ .

Спектроскопическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 21-79-10281, испытания материалов на установке ПЛМ — при поддержке проекта № 223 ЕОТП-УТП 774/158-ДГК «Росатом» ЧУ «Наука и инновации».

### **Литература**

1. **Van Oost, G., Dedov, A.V. & Budaev, V.P.** The Plasma-Facing Materials of Tokamak Thermonuclear Reactors: Requirements, Thermal Stabilization, and Tests (a Review). Therm. Eng. 68, 185–200 (2021).

*Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, К.А. Рогозин,  
В.С. Квасков, С.В. Белоусов, студенты;  
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф.(НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПЫТАНИЕ ОХЛАЖДАЕМОГО ВОЛЬФРАМОВОГО МАКЕТА ОБЛИЦОВКИ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННЫХ НАГРУЗОК ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ДУГООБРАЗОВАНИИ**

Влияние эффекта дугообразования на взаимодействие плазмы с поверхностью может привести к усилению теплообмена плазмы с поверхностью и к охлаждению плазмы в токамаке [1]. Для моделирования таких процессов на установке ПЛМ-М [2] было проведено испытание охлаждаемого вольфрамового макета облицовки в условиях плазменных нагрузок при интенсивном дугообразовании (Рис. 1).

В конструкции макета предусмотрено охлаждение водо-воздушной дисперсионной смесью, формируемой форсункой. Контроль температуры макетов осуществлялся с помощью 8 кабельных термопар типа хромель-алюмель (ХА).

Проведена диагностика приповерхностной плазмы с помощью монохроматор-спектрограф MS7504(i), позволяющий регистрировать излучение плазмы в диапазоне от 200 до 1100 нм со спектральным разрешением 0,013 нм. Для оценки тепловых потоков на материал используются данные измерения электрическими зондами параметров плазмы в зоне вблизи материальной поверхности испытуемого макета. Плотность мощности плазменно-тепловых потоков на поверхность макета при интенсивном дугообразовании достигает до 21 МВт/м<sup>2</sup>. С помощью созданной зондовой диагностики проведено измерение турбулентности приповерхностной плазмы.

Спектроскопическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 21-79-10281, испытания материалов на установке ПЛМ — при поддержке проекта № 223 ЕОТП-УТП 774/158-ДГК «Росатом» ЧУ «Наука и инновации».



**Рис. 1.** Фотография макета в плазме в режиме интенсивного дугообразования

### **Литература**

1. **Будаев В.П. и др.** Эффекты дугообразования при действии плазмы на вольфрамовые компоненты первой стенки в токамаке / ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез — 2019. — т. 42. — вып. 1 — стр. 51.
2. **В.П. Будаев и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017. Т. 40.3. 23.

*А.С. Федотов, М.Б. Смирнов, студенты; Д.С. Лукьянцев, асп.;  
рук. А.В. Лубенченко д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СДВИГА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФАЗОВОГО АНАЛИЗА УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РФЭС**

Ультратонкие плёнки нитрида металлов представляют особый интерес в устройствах крионаноэлектроники [1]. Функциональность таких устройств определяется послойным фазовым составом поверхности. Присутствие диэлектрических слоёв (оксидов металла) на поверхности приводит к ухудшению его чувствительности. Для исследования поверхности ультратонких плёнок применяют метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), который позволяет проводить послойный фазовый анализ [2]. Для проведения фазового анализа необходимо иметь данные об энергиях связи для различных химических соединений. Стоит учитывать, что энергия связи определяется не только химическим соединением, но и типом его кристаллической решётки. В литературе указаны энергии связи для химических соединений нитрида ниобия с большим разбросом, а для некоторых они и вовсе не определены.

В данной работе определены энергии связи для различных химических соединений нитрида ниобия и его оксидов, находящихся в различных кристаллических состояниях. Эта задача решена с использованием квантово-механического расчёта методом функционала плотности (DFT — Density Functional Theory). Получены зависимости степени окисления ниобия в соединениях нитрида ниобия и его оксидов от энергии связи. Показано влияние размера расчётного кластера химического соединения на его энергию связи. На основе полученных данных об энергиях связи проведён послойный фазовый анализ ультратонких плёнки нитрида ниобия на кремниевой подложке. Определены различные фазы нитрида ниобия и его оксидов в составе ультратонких плёнок, получен послойный фазовый профиль.

Полученные данные об энергии связи для различных соединений нитрида ниобия позволяют более точно проводить послойный фазовый состав ультратонких плёнок нитрида ниобия, результаты которого позволяют прогнозироваться работу устройств крионаноэлектроники, созданных на их основе.

### **Литература**

1. **Рябчун С.А. и др.** Терагерцовые детекторы на эффекте электронного разогрева в ультратонких сверхпроводниковых пленках NbN // Преподаватель XXI век. — 2012. — Т. 2. — №. 4. — С. 207–216.
2. **A.V. Lubenchenko et al.** Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2019. — Т. 1370. — №. 1. — С. 012048.

*А.А. Коньков, К.А. Рогозин, В.С. Квасков,  
С.В. Белоусов, студенты; В. Чан-Куанг, асп.,  
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ МЭИ)*

## **ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ ДУГ НА МАКЕТАХ ЛИТИЕВЫХ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СИСТЕМ**

В настоящее время в проектировании термоядерных установок остро стоит материаловедческая проблема, состоящая в поиске материалов, способных выдерживать импульсные и стационарные тепловые потоки порядка  $1 \text{ ГВт/м}^2$ . В связи с этим получили развитие проекты по альтернативным методам защиты теплонагруженных внутрикамерных компонентов, таким как использование капиллярно — пористых систем, заполненных жидкими металлами.

В НИУ МЭИ реализуется широкая программа испытаний литиевых капиллярно-пористых систем, и следующим шагом стали эксперименты в условиях совместного воздействия плазмы и дуговых процессов. Дуговые процессы на литиевой мишени были получены при помощи каскадного генератора импульсного напряжения и вольфрамового электрода, подведённого к поверхности мишени на расстояние 1 мм. Напряжение пробоя достигало 12 кВ. Плазменная нагрузка на поверхность мишени составляла  $1 \text{ МВт/м}^2$ .

Были проведены эксперименты по подавлению дуговых процессов на поверхности литиевой капиллярно-пористой мишени. Для этого использовалась сборка неодимовых магнитов 45Н, создающих дополнительное магнитное поле, перпендикулярное дуговому каналу.

В результате испытаний были зафиксированы скачки интенсивности линии  $\text{Li I } 690.9 \text{ нм}$ , что косвенно подтверждает зажигание дуги между вольфрамовым электродом и поверхностью литиевой КПС. Измерения тока, протекающего через мишень, показали, что при введении системы подавления дуг снижается амплитуда и частота дуговых процессов.

*Р. Идеал, асп.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МНОГОКАНАЛЬНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ТОКАМАКА Т-15МД**

В современном мире человечеству необходим экологичный и безопасный источник огромной энергии, использующий практически неиссякаемые запасы топлива. Таким источником является управляемый термоядерный синтез, для его осуществления наиболее перспективными являются установки-токамаки. Диагностический комплекс каждой такой установки состоит из отдельных диагностических систем (диагностик), которые позволяют определять значения параметров плазмы в различные моменты времени и в разных областях объёма плазменного шнура [1]. Тема работы связана с изучением методик диагностирования излучения плазмы токамака, а именно — с созданием рентгеновской диагностики для токамака Т-15МД, в котором применяются современные научные разработки. Разрабатываемая многоканальная диагностика позволяет определить профиль абсолютного значения температуры электронов плазменного шнура, которая является одной из главных характеристик плазмы. Главным преимуществом изучения излучения плазмы является бесконтактность используемой диагностики. Бесконтактные диагностики не вносят возмущения в плазму.

В данной работе рассматривается проведение расчёта рентгеновского излучения из плазмы токамака с целью разработки диагностики «Многоканальный рентгеновский спектрометр» для токамака Т-15МД, создающегося для исследований, нацеленных на решение наиболее значимых проблем ИТЭР, и в качестве прототипа термоядерного источника нейтронов. В процессе данной работы из сравнения расчётных и экспериментальных данных определена зависимость поглощения рентгеновского излучения в детекторе (спектральная чувствительность детектора) от энергии регистрируемого излучения, выбраны геометрические размеры проектируемой для Т-15МД диагностики, уточнены характеристики фильтров и детектора, написана программа, автоматически аппроксимирующая экспериментальные данные и определяющая температуру электронов. Посредством расчёта было показано, что при выбранных параметрах диагностики ожидается хорошее пространственно-временное разрешение во время экспериментов на Т-15МД.

### **Литература**

1. **Стрелков В.С.** Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке: учебное пособие. М.: МИФИ, 2004.



*Д.А. Гроо, Д.А. Тупотилов, студ.; А.С. Демидов, асп.;  
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СБОРА, ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТЕНДЕ «ОДНОСТОРОННИЙ НАГРЕВ»**

Развитие приборов сбора и обработки информации, а также различных измерительных и регулирующих устройств, позволило создавать современные информационно-измерительные системы, задача которых автоматизировать контрольно-измерительные процессы.

Программный комплекс, разработанный в графической среде программирования LabVIEW, по своей структуре имеет вид современной автоматизированной системы управления. Распределение процессов сбора, обработки и записи данных на отдельные блоки позволяет эффективно распоряжаться памятью компьютера, что делает выполнение команд более быстрым, а программу эффективной. Кроме того, встроенная возможность настройки графического интерфейса создаваемой в LabVIEW программы, позволяет создавать системы, подобные SCADA-системам, что делает данное программное обеспечение наиболее предпочтительным среди других сред разработки.

Таким образом, данный программный комплекс для автоматизации экспериментальной установки «Односторонний нагрев» (ТВС «МЭИ») включает в себя:

- а) получение данных с аналоговых датчиков расхода и давления, датчиков температуры;
- б) выполнение преобразования электрических сигналов с датчиков в их физические аналоги с помощью интегрированных подпрограмм;
- в) первичную обработку и архивацию данных;
- г) отображение результатов обработки в виде графиков и числовых массивов;
- д) возможность управления клапанами и расходом по протоколу Modbus TCP.

Д.А. Тупотилов, Д.А. Гроо, студенты; А.С. Демидов, асп.;  
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. ( НИУ «МЭИ»)

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛООБМЕНА НА РАБОЧЕМ УЧАСТКЕ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ НАГРЕВЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Особенностью современных технологий является увеличение значений плотностей передаваемых тепловых потоков, как за счет увеличения уровня тепловых потоков, так и за счет уменьшения характерных размеров теплообменных устройств. Поиск новых методов интенсификации теплообмена является характерной чертой внедряемых сегодня конструктивных элементов и технологий. Наибольшее внимание привлекли три: мини/микрочанальная, струйная и распылительная [1]. В работах [2, 3] авторы показали, что использование дисперсного потока в качестве теплоносителя при тепловых нагрузках в несколько МВт/м<sup>2</sup> может быть перспективным методом охлаждения.

Целью измерений было изучение возможности термостабилизации поверхностей, подвергающихся тепловым нагрузкам порядка нескольких МВт/м<sup>2</sup>, охлаждаемых дисперсным потоком теплоносителя, а также сравнение температурных полей на 2-ух рабочих участках при аналогичном диапазоне режимных параметров. Рабочие участки изготовлены из меди, но на один из них была наплавлена пластина из молибдена. Температурное поле в рабочих участках фиксируется с помощью термопар, расположенных на разной глубине. В ходе экспериментов измерялись как электрические параметры электронного пучка (ускоряющее напряжение  $U$ , анодный ток  $I_a$ ), так и термодинамические параметры компонентов потока диспергированного теплоносителя (температура воды и газа на входе и выходе исследовательского модуля соответственно  $T_{in\_liq}$ ,  $T_{in\_gas}$ ,  $T_{out}$ ; объемный расход воды и газа  $Q_{liq}$ ,  $Q_{gas}$ ; давление компонентов теплоносителя  $P_{liq}$ ,  $P_{gas}$ ). В результате экспериментов было выполнено сравнение температурных полей 2-ух рабочих участков при различных параметрах компонентов дисперсного потока теплоносителя.

### Литература

1. **I. Mudawar**. Recent advances in high-flux, two-phase thermal management. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 5 (2013), p. 021012.
2. **Lyublinski I.E.**, Mirnov S.V., Komov A.T. et al. Innovative method of cooling and thermostabilization of tokamak elements with capillary-porous structures. — J. of Physics: Conf. Series, 2017, vol. 891(1), p. 012152.
3. **Vertkov A.V.**, Komov A.T., Lyublinski I.E. et al The use of dispersed gas-liquid flow for cooling of the tokamak t-10 liquid metal limiter — Problems of Atomic Science and Technology, Series Thermonuclear Fusion, 2018, 41(1), p. 57–64.

*М.Б. Смирнов, А.С. Федотов, студ.; Д.С. Лукьянцев, асп.;  
рук. Д.А. Иванов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОКРАТНОГО ОКИСЛЕНИЯ И ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ОКСИДНЫХ СЛОЁВ НА ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАТОНКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЁНКИ**

Ультратонкие металл-оксидные плёнки ниобия используются при изготовлении микроэлектронных пассивных элементов — мемристоров. Функциональные свойства этих устройств зависят от структуры оксидных слоёв (очередность расположения, толщины слоёв, фазовый состав). Структуру металл-оксидной плёнки можно формировать ионным распылением, окислением. Для контроля послойного химического и фазового профиля использован неразрушающий метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [1].

Формирование определённой структуры (сочетание слоёв субоксидов и высшего оксида) на окисленной поверхности металла проводилась при помощи многоэтапного ионного распыления и окисления с контролем послойного профиля методом РФЭС [2]. Было проведено исследование влияния различных характеристик или параметров (длительности атмосферного окисления, энергии ионного пучка) на состав поверхностных оксидных слоёв тонких плёнок ниобия.

При расчёте послойного профиля использовалась методика вычитания фона, в которой учитывались плазменные объёмные и поверхностные потери электронов, что позволило получить более точные результаты по сравнению со стандартным методом вычитания фона.

В работе проведено моделирование процесса распыления ионами аргона металл-оксидных плёнок в программе SRIM. Получено, что коэффициенты распыления химических элементов зависят от послойного состава плёнки.

В работе обоснована возможность использование многократного ионного распыления и окисления с целью формирования многослойной оксидной структуры.

### **Литература**

1. **A.V. Lubenchenko, D.A. Ivanov, O.I. Lubenchenko, et al.** Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // *Journal of Physics: Conference Series*, Т. 1370, № 1, С. 012048 (2019).
2. **А.В. Лубенченко, Д.А. Иванов, О.И. Лубенченко и др.** Формирование неоднородных оксидных и субоксидных слоев на ультратонкой металлической пленке при многократном окислении и ионном распылении // *Журнал технической физики*, 2022, Т. 92, №. 8, С. 1172–1178.

*С.В. Белоусов, В.С. Квасков, К.А. Рогозин, А.А. Коньков,  
А.М. Никулина, студенты; В.Ч. Куанг, асп.;  
рук. ВП. Будаев, д.ф-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭРОЗИИ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ МАКЕТОВ ВОЛЬФРАМОВЫХ МОДУЛЕЙ И ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИТИЕВЫХ КПС В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ДУГООБРАЗОВАНИЯ**

Для моделирования условий стационарной эксплуатации макетов внутрикамерных компонентов на основе вольфрамовых и жидкометаллических литиевых модулей была проведена серия испытаний в условиях стационарной плазменной нагрузки и интенсивного дугообразования на установке ПЛМ в НИУ МЭИ [1]. Параметры плазмы при испытаниях: плотность теплового потока до 1,8 МВт/м<sup>2</sup>, плотность электронов 10<sup>13</sup> см<sup>-3</sup>, температура электронов 1–3 эВ.

Модули вольфрамовой теплозащитной облицовки изготовлены АО «НИИ-ЭФА» по проекту НИУ МЭИ по технологии ITER. Опытный макет жидкометаллической литиевой капиллярно-пористой системой изготовлен в НИУ МЭИ и заправлен литием по технологии АО «Красная Звезда». В конструкции модулей предусмотрены отверстия для закладки термопар.

На поверхности вольфрамового модуля обнаружены кратеры дугообразования. Характерные размеры кратеров составили 10 мкм, что соответствует экспериментам на токамаках. На поверхности модуля жидкометаллической литиевой КПС обнаружена высокопористая поверхность, сетка КПС не оголилась и не разрушилась. В области концентрации высокопористых поверхностей и кратеров сконцентрировались различные примесные элементы.

Сравнительный анализ эрозии обращенных к плазме поверхностей макетов показал, что на поверхности вольфрамовых модулей формируются кратеры дуговых процессов, а на поверхности жидкометаллических модулей высокопористые литийсодержащие структуры. Оба модуля в ходе испытаний не испытали критических нагрузок, способных привести к разрушению их поверхности.

### **Литература**

1. **BUDAEV et al**, The PLM Plasma Device for Tests of Tungsten with Powerful Stationary Heat Plasma Loads // Physics of Atomic Nuclei. Vol. 82. No. 9. pp. 1281–1291. 2019.

*К.А. Рогозин, А.А. Коньков, В.С. Квасков, С.В. Белоусов,  
А.М. Никулина, студенты; В.Ч. Куанг, асп.;  
рук. С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ ДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛАХ В УСТАНОВКЕ ПЛМ**

Униполярная дуга (искра) — важное явление при эрозии стенок и последующего поступления продуктов эрозии в плазму в термоядерных установках [1]. Важно исследование процессов образования униполярных дуг в крупных плазменных установках для предсказания возникновения, а также возможности их подавления. Создание условий для интенсивного дугообразования в плазме с параметрами пристеночной плазмы токамака возможно на установке ПЛМ в НИУ МЭИ [2].

Для создания условий интенсивного дугообразования в приповерхностной плазме на образцах конструкционных материалов токамака-реактора создан высоковольтный генератор импульсного напряжения (ГИН). ГИН изготовлен по схеме Маркса и имеет один промежуточный разрядник.

Измерены параметры разряда ГИН: ток разряда 1–3 кА, средний заряд во время импульса порядка 50 мкКл, время импульса 40 нс.

Проведены испытания ГИН на установке ПЛМ. Для получения дуговых процессов в плазме выход ГИН подключается через промежуточных разрядник, высоковольтный электрод изолирован от плазмы через керамику. Оптимальное расстояние между концом электрода и испытываемым материалом 1–1.5 мм. Оптимальное давление в вакуумной камере  $4 \cdot 10^{-2}$ – $10^{-1}$  торр.

Проведены испытания макета вольфрамового модуля теплозащитной облицовки дивертора в условиях интенсивного дугообразования в стационарном плазменном разряде. Полученные кратеры на поверхности вольфрама, подобны кратерам, образовавшимся на вольфраме в токамаке Т-10.

### **Литература**

1. **A.V. Nedospasov, V.G. Petrov, N. Zykova.** Unipolar Arcs 1985 IEEE Transactions on Plasma Science 13(5):253–256.
2. **BUDAEV et al,** The PLM Plasma Device for Tests of Tungsten with Powerful Stationary Heat Plasma Loads // Physics of Atomic Nuclei. Vol. 82. No. 9. pp. 1281–1291. 2019.

*К.А. Рогозин, А.А. Коньков, В.С. Квасков, С.В. Белоусов, А.М. Никулина, Чилин М.С., Анисимов Д.А., студенты; В.Ч. Куанг, асп.; рук. С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ЗОНДОВЫМИ МЕТОДАМИ В УСТАНОВКЕ ПЛМ-М**

Для исследования свойств приповерхностной плазмы во время испытаний конструкционных материалов токамака-реактора [1–3] в установке ПЛМ-М применяется подвижная зондовая диагностика.

Система состоит из сборки 4-х зондов, электромеханического манипулятора, системы управления, системы питания, генератора сигнала и системы сбора данных. Ход зонда от оси плазменного шнура составляет 150 мм. Параметры зонда: материал — вольфрам, длина собирающей поверхности — 3 мм, диаметр — 1 мм.

Измерены параметры плазмы в ресиверной области установки ПЛМ-М во время испытаний макета вольфрамовых модулей теплозащитной облицовки дивертора, а также в условиях свободного истечения плазмы в объем ресивера. Измерения проводились по схеме одиночного зонда Ленгмюра. Получено распределение ионного тока и потенциала зонда по радиусу пучка плазмы. Вольт-амперная характеристика получена при напряжении  $\pm 100$  В, напряжение подавалось от генератора сигналов, форма сигнала — пила, частота 1 кГц.

Установлено, что истекающий в ресиверную область поток плазмы имеет радиус более 150 мм, потенциал зонда на оси установки составляет от -3.7 В до -4.2 В, на расстоянии 150 мм от оси от -1,7 до -2 В. Плотность плазмы на в центре пучка  $\sim 10^{13}$  см<sup>-3</sup>.

Дальнейшая работа будет направлена на измерение параметров плазмы двойным зондом, определение скорости истечения потока плазмы в ресивер, определение температуры плазмы.

### **Литература**

1. **BUDAEV et al**, The PLM Plasma Device for Tests of Tungsten with Powerful Stationary Heat Plasma Loads // *Physics of Atomic Nuclei*. Vol. 82. No. 9. pp. 1281–1291. 2019.
2. **N. Ohno et al**, Static and dynamic behaviour of plasma detachment in the divertor simulator experiment NAGDIS-II // *Nucl. Fusion* 41. 1055. 2001.
3. **S. Takamura**, Characteristics of the compact plasma device AIT-PID with multicusp magnetic confinement // *IEEE Trans. Electr. Electron. Eng.* 7 (S1). 19. 2012.

*Е.А. Муравьева, студ.; рук. В.Ф. Чиннов, д.ф.-м.н. («НИУ «МЭИ»);  
рук. А.С. Пашина, к.ф.-м.н. (ОИВТ РАН);  
рук. Д.И. Кавыршин, к.ф.-м.н. («НИУ «МЭИ»)*

## **СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭРОЗИОННОГО РАЗРЯДА В КАПИЛЛЯРЕ ИЗ ФТОРОПЛАСТА**

Основными элементами капиллярного разрядника являются капилляр диаметром  $d=1\div 2$  mm, внутренний плоский электрод из никеля (анод), герметизирующая дно капилляра, и наружный электрод (катод). Максимальная величина разрядного тока достигает  $I_m=350\text{--}450$  А, а падение напряжения на разрядном промежутке составляет  $U=150\text{--}250$  В. Формируемый импульс тока, близкий к полуволне синусоиды, имеет длительность около 1000  $\mu\text{s}$ . Как показали ранние исследования, при названных электрических параметрах капиллярного разряда в оргстекле в течение импульса реализуются как дозвуковой (на начальном и конечном периодах импульса), так и сверхзвуковой (в период максимума импульса тока) режимы истечения эрозионной плазмы из капилляра.

Локальность измерений обеспечивает система покадровой синхронизированной регистрации, включающая в себя однокадровую регистрацию камерой Andor iStar DH720, размещенной в выходной фокальной плоскости спектрометра Oriel MS-257. С ее помощью, регистрируя дважды (в до- и сверхзвуковом режиме истечения) спектры в диапазонах  $270\div 310$  nm,  $330\div 370$  nm,  $450\div 490$  и  $680\div 720$  nm, удалось установить «временную» очередность испускания соседствующих в «обзорном» спектре линий Cu I, C II, F I и F II и оценить их относительную роль при до- и сверхзвуковом истечении.

При анализе «обзорных» спектров AvaSpec получен для всей совокупности относительных интенсивностей линий C II, F I, F II, Cu I, Cu II вид относительной заселенности излучающих состояний для названных компонентов плазмы, которая отражает достигнутый уровень возбуждения каждой излучающей с компоненты в течение импульса.

По пространственным распределениям основных излучателей плазмы — атомам и однократно заряженным ионам углерода и фтора в Саха-больцмановском приближении в выходном сечении капилляра установлены радиальные изменения мольных соотношений C:F, позволяющие судить об относительной роли термо- и амбиполярной диффузии в высокотемпературной приосевой зоне разряда. Выполненные измерения параметров показали, что благодаря большой протяженности импульса и высоким энергиям джоулевого нагрева, обеспечивающим высокие концентрации электронов (более  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>) и их температуры (свыше 2 eV), эрозионная плазма в приосевой области плазменной струи является квазистационарным объектом в состоянии Саха-больцмановского равновесия, позволяющим выполнять с требуемой точностью (20÷30%) спектральные измерения таких важнейших атомных характеристик многокомпонентной плазмы, как вероятности радиационных переходов и константы штарковского уширения спектральных линий.

В.С. Штелинг, асп.; рук. А.Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ

В современной технике необходимы простые и надежные решения, обеспечивающие стационарный теплоотвод и термостабилизацию рабочих элементов при высоких плотностях теплового потока. При термостабилизации элементов термоядерных установок, требуемый уровень плотности отводимого теплового потока составляет 10 МВт/м<sup>2</sup>. В таких условиях, актуальным становится метод диспергированного охлаждения, зарекомендовавший себя, как один из самых эффективных, среди методов жидкостного охлаждения.

Генерация диспергированного потока (ДП) с оптимальными для эффективного теплосъема параметрами, является сложной физико-технической задачей, обусловленной процессами эволюции ДП в процессе движения, временем взаимодействия ДП с поверхностью, образованием турбулизированной кипящей пленки жидкости. Известны модели, описывающие эти сложные процессы, однако считать их исчерпывающими вряд ли возможно. Вот почему экспериментальные исследования в данной области, имеют большую актуальность.

Целью данной работы является исследование термостабилизации диспер-

гированным потоком воды высокотемпературной поверхности на экспериментальном стенде, моделирующем энергонагруженные элементы термоядерных установок; зависимости плотности тепловых потоков от температуры стенки; уравнение для теплоотдачи в критериальной форме (рис. 1).

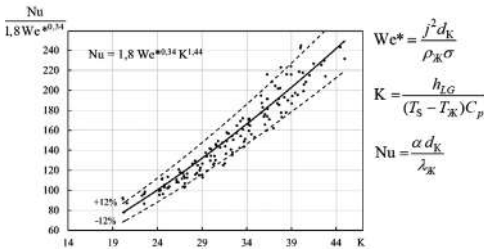


Рис. 1. Описание процесса диспергированного охлаждения критериальным уравнением

Работа выполняется при поддержке гранта РНФ №21-79-10179



**Секция 41**  
**ТЕПЛОФИЗИКА**  
**Thermophysics**

---

*Председатель секции:*

*д.ф.-м.н., профессор Синкевич Олег Арсеньевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Глазков Василий Валентинович*

А.М. Атаева, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА ЗАМКНУТОЙ МОДЕЛИ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦР-УСТАНОВКИ

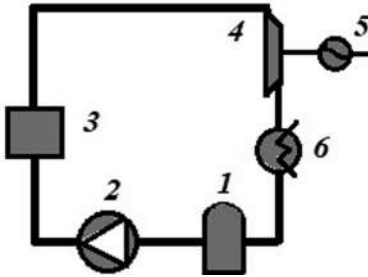


Рис. 1. Принципиальная схема ОЦР-установки: 1 — жидкотный ресивер, 2 — насос, 3 — котёл, 4 — экспандер, 5 — генератор, 6 — конденсатор

Работа энергетической установки может протекать в стационарном или нестационарном режиме. В нестационарном режиме термодинамические параметры установки могут изменяться как периодическим образом (периодический режим), так и демонстрировать вовсе отсутствие упорядоченности (хаотический режим). На кафедре ИТФ создана малая энергетическая ОЦР-установка, реализующая органический цикл Ренкина (ОЦР), рис. 1.

Рабочее тело цикла установки — фреон R141b, предельные параметры рабочего тела — 90°C и 2,871 атм. Проведённые эксперименты показали, что в определенном

диапазоне значений рабочих параметров наблюдались нестационарные режимы работы. В этих режимах были зафиксированы колебания расхода большой амплитуды, в том числе до полной остановки циркуляции жидкого фреона на период 10–30 секунд. Полученные данные находятся в качественном согласии с данными других авторов, также фиксировавших значительные по амплитуде колебания рабочих параметров в установках, реализующих цикл Ренкина [1].

В ходе создания математической модели ОЦР установки первоначально была разработана модель, учитывающая нестационарность процессов только в конденсаторе установки. Результат показал, что используемый в установке конденсатор типа «труба в трубе» не влияет на возникновение нестационарности. Небольшие отклонения, возникающие в системе за счет возмущений, подаваемых на вход конденсатора, оказались затухающими.

В данном исследовании рассматривается математическая модель, описывающая последовательную работу каждого элемента с учётом нестационарности протекающих в них процессов. Найдены стационарные точки в фазовом пространстве параметров установки и проведено сопоставление экспериментальных данных с теоретическими результатами.

### Литература

1. Федоров В.А., Мильман О.О. Теплогидравлические автоколебания и неустойчивость в теплообменных системах с двухфазным потоком. М.: Издательство МЭИ, 1998, 244 с.

*Е.А. Калашникова, студент;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НИХ**

Несмотря на то, что грозовые явления известны и наблюдаемы с самых ранних времен, проблема их описания до сих пор далека от полной ясности. Например, многие виды электрических разрядов, возникающих при грозе (джеты, спрайты), были обнаружены только относительно недавно. С объяснением механизма возникновения сильных электрических полей в грозовых облаках ситуацию также нельзя назвать удовлетворительной. Существуют несколько десятков возможных механизмов зарядки капель в грозовом облаке, однако какой из них и когда превалирует — вопрос до сих пор остается открытым [1, 2]. В данной работе описана модель циркуляции воздушных масс в мезомасштабном атмосферном вихре. Рассматривается тороидальный вихрь с характерным размером 5 км. Предполагается, что в центре вихря, где имеет место подъемное течение, изменение давления по высоте соответствует влажноадиабатическому градиенту, в то время как на периферии давление распределено в соответствии с сухоадиабатическим градиентом. Определены средние скорости циркуляции потока. Разработана модель процесса роста капель в восходящем воздушном потоке, определены высоты выпадения капель в виде осадков.

Предложен механизм электризации гидрометеоров в восходящем воздушном потоке при столкновениях летящих вниз крупных гидрометеоров (капель, градин) с увлекаемыми вверх мелкими каплями/льдинками, в присутствии внешнего электрического поля. Определены приобретаемые каплями электрические заряды, определен суммарный электрический ток, переносимый ими внутри вихря. Проведено сравнение полученных значений тока зарядки грозового облака с известными значениями среднего тока его разрядки за счет периодических сильноточных электрических разрядов (молний). Проведена оценка электрической емкости грозового облака и величины его среднего электрического заряда.

### **Литература**

1. Мучник В.М. Физика грозы. СПб.: Гидрометеиздат, 1974. с. 352.
2. С. Saunders. Charge Separation Mechanisms in Clouds//Space Sci Rev (2008) 137: 335–353 / DOI 10.1007/s11214-008-9345-0

Е.С. Иванова, студ.; рук. Д.Н. Герасимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ**

Может казаться, что исследование поведения популяции водорослей *Chlorella vulgaris* в условиях различных внешних воздействий давно завершено ввиду простоты изучаемых объектов и исчерпаемости видов внешнего воздействия. Однако это не так, и воздействие излучения высоких энергий на водоросли изучается до настоящего времени.

В ходе данной работы были проведены разные по длительности эксперименты по воздействию излучений высоких энергий на *Chlorella vulgaris*, диаметр молодых клеток которой в среднем 2 мкм, взрослых — 10 мкм. Для культивирования одноклеточной водоросли использовались чашки Петри. Наблюдение за популяцией проводилось с помощью микроскопа Биомед-2.

Действие излучений высоких энергий на микроскопические объекты основано на фотохимических реакциях, в результате которых происходят необратимые повреждения ДНК, мутации и клеточная гибель. Для исследуемой водоросли *Chlorella vulgaris* характерны гибель «под лучом», апоптотическая гибель после нескольких делений и некротическая гибель [1]. За доказательство гибели водоросли принимается уменьшение отношения процентного содержания клеток ее облученных популяций к необлученным.

Для отслеживания динамики роста популяции *Chlorella vulgaris* была разработана методика, основным элементом которой — программа обработки изображений. Результат работы программы — численное значение клеток водоросли *Chlorella vulgaris* в чашке Петри в момент исследования. При разработке методики был проведен теоретический анализ и определен объем необходимых изображений, отражающий статистически значимую величину. Методика хорошо зарекомендовала себя изначально при облучении водоросли коротковолновой УФ-лампой, затем была применима к опытам с ионизирующим излучением.

Проведенные эксперименты выявили последствия воздействия излучений высоких энергий на *Chlorella vulgaris*. Результат расчета отношения скоростей роста необлученных популяций к облученным превышает единицу, что подтверждает гибель клеток.

### **Литература**

1. Ляпунова Е.Р., Комарова Л.Н. Действие редко- и плотноионизирующего излучения на популяцию *chlorella vulgaris*. Радиация и риск, 2014. Т. 23. № 4.

*Т.С. Курноскин, студент;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КРИОГЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПОЛНОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ И ПОДАЧЕЙ ПАРА ИЛИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В КАМЕРУ СГОРАНИЯ**

Сжиженный природный газ активно используют в различных отраслях, он в огромных количествах может быть поставлен практически во все точки земли. Чаще всего СПГ используется в газифицированном виде (газификация осуществляется в портах разгрузки). Однако применение в таком виде нерационально, так как заметный хладоресурс сжиженного природного газа фактически не используется.

В настоящее время возникла реальная возможность радикально изменить ситуацию, проводя процесс газификации непосредственно в криогенных энергетических и транспортных установках (КГТУ), использующих криогенное топливо и окислитель. Применение жидкого кислорода в качестве окислителя и СПГ в качестве топлива в КГТУ, аналогично их использованию в криогенных ракетных двигателях [1], позволяет без значительных энергозатрат поднять рабочее давление до 50 МПа, при тех же температурах в камере сгорания (КС), что заметно увеличивает КПД. Наличие криогенного топлива и окислителя позволяет провести полную конденсацию отходящих газов (смесь водяного пара и углекислого газа), тем самым снизив давление на выходе из турбины. КГТУ по располагаемому перепаду давления превзойдет лучшие паросиловые установки, значительно превосходя по температуре перед турбиной.

Переход на кислород в качестве окислителя ставит задачу снизить температуру в КС до приемлемых величин (около 16000 К). Этого можно добиться, добавив определенное количество водяного пара (данное решение используется в некоторых схемах ГТУ [2]) или углекислого газа, которые конденсируются на выходе КГТУ. В докладе рассматриваются различные возможные схемы транспортных и стационарных энергетических установок, использующих криогенное топливо и окислитель. Проведены оценки результирующего КПД установок работающих на СПГ и жидком кислороде с добавлением в камеру сгорания углекислого газа. Сделан вывод о перспективности работ в данном направлении.

### **Литература**

1. **Добровольский М.В.** Жидкостные ракетные двигатели. М.: МГТУ, 2006.
2. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

Д.В. Горбачев, Д.М. Свашенко, Л.Г. Полянский, студенты;  
 рук-ли Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),  
 А.В. Лавриков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ С ГИДРОФОБНЫМ ПОКРЫТИЕМ

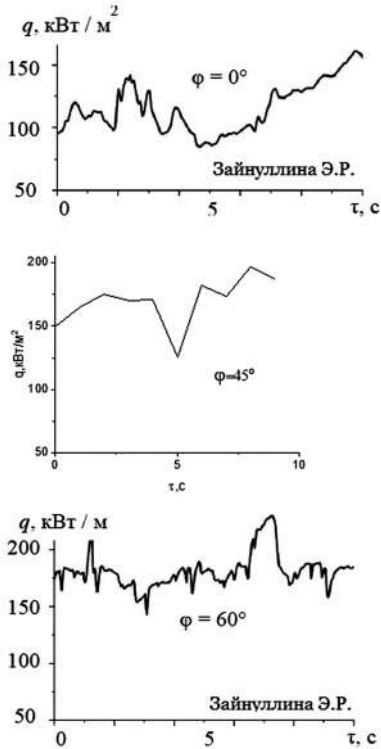


Рис. 1. Пульсации теплового потока

При конденсации на трубе наблюдаются пульсации локального теплового потока и температуры стенки. В работе [1] исследованы пульсации локального теплового потока при конденсации на трубе водяного пара с помощью градиентной теплотометрии (см рис. 1). В работе [2] с помощью тонкопленочного термометра сопротивления измерены колебания температуры стенки с низким коэффициентом теплопроводности. Однако имеющиеся данные по пульсациям теплового потока и температуры стенки крайне ограничены.

В настоящей работе исследуются пульсации локального теплового потока при конденсации на трубе с покрытием, описанным в работе [3], с помощью градиентного датчика теплового потока при азимутальном угле  $45^\circ$ . Условия опыта: давление: 52 КПа, разность температур  $60^\circ\text{C}$  и концентрации неконденсирующихся газов примерно 13%. Как видно, на трубе с покрытием также наблюдаются пульсации локального теплового потока, но большей величины, с чем в работе [1].

### Литература

1. Зайнуллина Э.Р. Градиентная теплотометрия в исследовании теплообмена при конденсации пара на наружной поверхности трубы, кандидатская диссертация, 2021.
2. Tsuruta, Experimental verification of constriction resistance theory in dropwise condensation heat transfer, Int. J. Heat Mass Transfer, v. 34, 1999.
3. Патент 2750831, Ю.А. Кузма-Кичта, 2020 г.

*Д.В. Паторкин студ.; рук. В.Ф. Очков, д.т.н., проф.;  
Е.Е. Устюжанин, к.т.н., доцент (НИУ “МЭИ”)*

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ SMATH**

В докладе разрабатываются новые алгоритмы и программное обеспечение (ПО), которое содержит вычислительные коды, позволяющие оператору/пользователю выполнять теплофизические расчеты применительно к ряду задач, стоящих перед водородной энергетикой (ВЭ). Данные алгоритмы являются методической основой для создания программных кодов, ориентированных на решение указанных задач. Предлагаемое ПО включает такие компоненты, как:

- а) коды, написанные с использованием пакета SMath Studio. Указанный пакет поставляется Российской фирмой ООО «ЭсМат» (SMath LLC),
- б) открытые интерактивные ресурсы (ОС ресурс).

В докладе обсуждаются результаты решения группы задач, в том числе:

- 1) создание ОС ресурсов для определения теплофизических свойств водорода в заданных граничных условиях,
- 2) разработка ОС ресурсов для вычисления теплофизических свойств рабочих тел, используемых в ВЭ,
- 3) производства водорода электролизом воды и из органического сырья, хранения и транспортировки водорода, использования водорода для производства электроэнергии.

Упор доклада поставлен на показ возможностей, математического пакета SMath для дальнейшего использования в области теплофизических расчётов.

### **Литература**

1. **Кулешов, Н.В.** Водородная энергетика: учебник / Н.В. Кулешов, С.К. Попов, С.В. Захаров и др. — М.: Издательство МЭИ, 2021.

Р.А. Дуплянкин, асп.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ СТРУЙНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

В работе рассматривается метод интенсивного охлаждения с помощью свободных струй недогретой жидкости. Одним из открытых вопросов исследования струйного охлаждения является наблюдаемый контакт жидкости с поверхностью нагревателя при уровне температур, превышающем термодинамический предел перегрева. По мере охлаждения струей поверхности в пленочном режиме кипения под слоем жидкости образуется темное пятно, обычно интерпретируемое как смоченная область поверхности. О наблюдениях такого рода сообщают в многочисленных экспериментальных работах. В экспериментах [1] показано, что для водяной струи с недогревом  $\Delta T_{sub} = T_w - T_s = 80^\circ\text{C}$ , при скорости  $w_{jet} = 1$  м/с и диаметре струи  $d_{jet} = 8$  мм в области темного пятна может быть достигнуто значение теплового потока с поверхности  $q_w = 5$  МВт/м<sup>2</sup> при уровне температур поверхности  $T_w = 574^\circ\text{C}$ . Такой тепловой поток не может быть отведен в обычном пленочном режиме кипения, что согласуется с расчетами по модели [2] для пленочного кипения струи недогретой жидкости на поверхности. Со снижением температуры поверхности уменьшается также и толщина паровой пленки, что, по всей видимости, приводит к проникновению крупных неровностей поверхности в жидкость над пленкой. В качестве объяснения наблюдаемых эффектов рассматривается возможность интенсификации теплообмена в жидкости за счет генерации вихрей (см. рис. 1) на таких неровностях что приводит к увеличению отводимого теплового потока в пленочном режиме кипения при одновременном утончении пленки до 5–10 мкм.

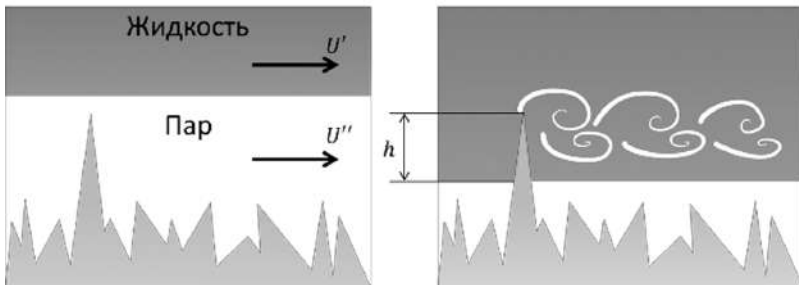


Рис. 1. Вихребразование на неровностях поверхности погруженных в жидкость

### Литература

1. Leocadio H., Geld C., Passos J. Rewetting and boiling in jet impingement on high temperature steel surface // Phys. Fluids. 2018. Vol. 30. doi:10.1063/1.5054870
2. Liu Z.H., Wang J. Study on film boiling heat transfer for water jet impinging on high temperature flat plate // Int. J. Heat Mass Transf. — 2001. — Т. 44. — №. 13. — С. 2475–2481.



*О.Е. Рогожникова, студ.; Р.А. Дуплянкин, асп.;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ТЕЛАХ, ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫХ В ЖИДКОСТЬ**

Задача об обтекании бесконечного полностью погруженного цилиндра хорошо изучена как экспериментально, так и с использованием численных методов. Известна также и модификация этой задачи, в которой рассматривается обтекание цилиндров конечной длины, что обычно приводит к увеличению критического числа Рейнольдса, при котором наблюдается вихревая дорожка  $Re_d^*$  [1]. В другой модификации задачи цилиндр устанавливается в открытый канал с жидкостью таким образом, что один из его концов пересекает свободную поверхность, это также приводит к увеличению  $Re_d^*$  [2]. Меньшее число исследований посвящено совместному рассмотрению обеих модификаций задачи, в которой цилиндр конечной длины погружается в жидкость через свободную поверхность.

В работе с помощью программного комплекса FlowVision проводится численное моделирование обтекания цилиндра с полусферическим концом, частично погруженного в неограниченный объем жидкости. Диапазон моделируемых чисел Рейнольдса  $Re_d = 50 \div 300$  при глубинах погружения  $h/d = 0 \div 3$ , где  $h$  — глубина погружения, отсчитываемая от свободной поверхности до начала полусферической части. При заданных глубинах погружения  $h/d$  определены  $Re_d^*$ , которые приводят к возникновению вихревой дорожки в следе за цилиндром, а также числа Струхала  $Sh$  для всех режимов с вихреобразованием.

Также исследовано взаимодействие вихрей, генерируемых несколькими расположенными вблизи друг от друга частично погруженными цилиндрами конечной длины. В квазидвумерных течениях, где толщина слоя жидкости в одном из направлений значительно меньше двух других, взаимодействие вихрей может приводить к переносу энергии в направлении от малых масштабов к большим [3], что в результате порождает интенсивное вихревое движение вблизи свободной поверхности.

### **Литература**

1. **Albarède P., Monkewitz P.A.** A model for the formation of oblique shedding and «chevron» patterns in cylinder wakes // *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*. — 1992. — Т. 4. — №. 4. — С. 744–756.
2. **Yu G., Avital E. J., Williams J. J. R.** Large eddy simulation of flow past free surface piercing circular cylinders // *Journal of Fluids Engineering*. — 2008. — Т. 130. — №. 10.
3. **Kraichnan R.H.** Inertial ranges in two-dimensional turbulence // *The Physics of Fluids*. — 1967. — Т. 10. — №. 7. — С. 1417–1423.

С.В. Терентьева, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬ И СТРУЙ ЖИДКОСТИ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Орошение очень горячих металлических деталей струями или потоком капель широко используется в различных технологических процессах (закалка металла, струйное и капельное охлаждение и т.п.). Процессы, протекающие при закалке, являются предметом тщательного изучения [1].

Для изучения совокупности процессов, протекающих при взаимодействии струй и капель с горячей поверхностью создана лабораторная установка, основным элементом которой является нагреваемая до 340 °С металлическая пластина (чугун СЧ-15, нержавеющая сталь) [2]. Достижимый в экспериментах верхний температурный предел находится значительно выше температуры нормального кипения жидкости (дистиллированная вода) и выше температуры Лейденфроста. Подача жидкости в виде струй или капель на пластину производится из иглы диаметром 0.3–0.6 мм.

В процессе эксперимента с каплями последние стряхивались на центральную часть пластины с высоты 5–6 см. Это соответствовало числу Вебера при ударе в диапазоне 10–20. Капли, вполне ожидаемо, дробилась на множественные фрагменты, диаметром от 2 до 0.1 мм. Было обнаружено, что заметная часть вторичных капель совершала незатухающие прыжки. Данные прыжки не прекращались до полного испарения капли. Были рассмотрены две гипотезы описания наблюдаемого эффекта. В первом случае («гипотеза паровой подушки») капля отскакивает от поверхности за счет избыточного давления, которое возникает в паровом слое при ее приближении к поверхности, и контакта между каплей и металлической пластиной не происходит. Во втором случае («гипотеза микровзрыва») жидкость на какое-то малое время приходит в прямой контакт с нагретой поверхностью. Образовавшийся тонкий перегретый вблизи металлической поверхности слой воды взрывается и образующийся пар отбрасывает каплю от поверхности. Выполненные на основе экспериментальных результатов оценки свидетельствуют о справедливости второй высказанной гипотезы.

### Литература

1. **Leocadio, Hormando & Geld, C. & Passos, Júlio.** (2018). Rewetting and boiling in jet impingement on high temperature steel surface. *Physics of Fluids*. 30. 122102. 10.1063/1.5054870.
2. **В.В. Глазков, Р.А. Дуплянкин, А.А. Ильяхин.** Вскипание жидкой пленки при столкновении водяной струи с нагретой стальной поверхностью. // *ЖТФ*. 2022. Т. 92, вып. 4. с. 533–539.

С.М. Юдин, студ.; рук. Ю.П. Ивочкин, д.т.н. (Москва, ОИВТ РАН)

## К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ПРИ СХЛОПЫВАНИИ ПАРОВЫХ ПУЗЫРЕЙ ОХЛАДИТЕЛЯ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТИ

Фрагментация жидкого металла при его попадании в жидкость теплоноситель является малоизученной и, как итог, актуальной проблемой в отрасли безопасности АЭС. Так важной задачей является установление причин и закономерностей дробления расплава при его взаимодействии с ударной волной [1].

При попадании в воду, на поверхности жидкого металла, имеющую температуру Тпл, начинает реализовываться режим пленочного кипения.

В дальнейшем в некоторых местах происходит сход паровой пленки, ввиду чего наблюдается активный рост парового пузыря (рис. 1). Его дальнейшее схлопывание возбуждает коротко-временный импульс, который является источником сферических волн. Ввиду данного явления в пространстве жидкого металла возникают зоны сжатия и разряжения. При определенных низких давлениях возможно резкое вскипание флюида, в ходе которого образующиеся внутри пары “разрывают” каплю изнутри.

Была проведена серия экспериментов по определению давления внутри расплава с помощью специальных волноводов, а также построена соответствующая модель в среде для физического моделирования. Полученные поля давления их численные значения позволяют оценить возможность фрагментации жидкого металла, а также уточнить процессы управляемой добычи аморфных металлов и закономерности протекания паровых взрывов.

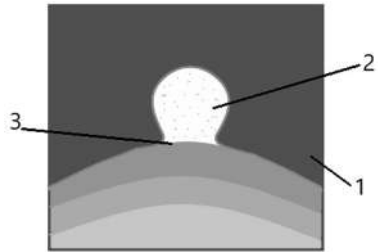


Рис. 1. Образование парового пузыря на поверхности жидкого металла, 1 — жидкость-теплоноситель, 2 — пар, 3 — поверхность металла

### Литература

1. Yu.P. Ivochkin, K.G. Kubrikov, I.O. Teplyakov, The study of the liquid metal drops fragmentation // JPSCF 1359 (2019) 012037.

К.Е. Мякшина, студент;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

## МИКРО- И МАКРО- ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ СТРУИ ЛЕГКОКИПАЩЕЙ ЖИДКОСТИ С НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

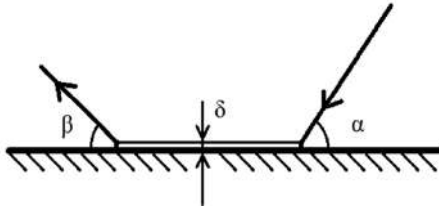


Рис. 1. Смоченное пятно при соударении струи жидкости с нагретой поверхностью;  $\alpha$  — угол наклона струи относительно поверхности,  $\delta$  — толщина пленки,  $\beta$  — характерный параметр смоченного пятна

ленной под углом к нагретой до различных температур поверхности (нержавеющая сталь, жаропрочный чугун), рис. 1. Выдвинута гипотеза о существовании стационарного парового микрослоя между твердой поверхностью и жидкой пленкой при температуре поверхности выше температуры предельного перегрева жидкости, полученные оценки согласуются с результатами работ [1].

Рассмотрено влияние на интенсификацию теплообмена шероховатостей на поверхности металлической пластины с характерным размером неровностей порядка 10 мкм. Вершины выступов пронизывают насквозь паровую микропленку, формирующуюся над нагретой поверхностью. Число Рейнольдса, при обтекании потоком такого выступа, находится в диапазоне 50–250. Это означает, что, несмотря на ламинарный характер потока, за каждым выступом на поверхности будет генерироваться развитая вихревая дорожка (микротурбулентность). Таким образом в жидкости вблизи поверхности паровой пленки возникает интенсивное вихревое движение, отводящее вглубь недогретой жидкости потоки тепла, которые идут в жидкость со стороны нагретой металлической поверхности. Обсуждается вопрос о взаимодействии образующихся вихревых дорожек и возможность реализации в данной системе своеобразного обратного вихревого каскада.

### Литература

1. **Leocadio H., Passos J.C.** Experimental investigation of heat transfer characteristics during water jet impingement cooling of a high-temperature steel surface // *Ironmaking & Steelmaking*, 2021. <https://doi.org/10.1080/03019233.2021.1872467>

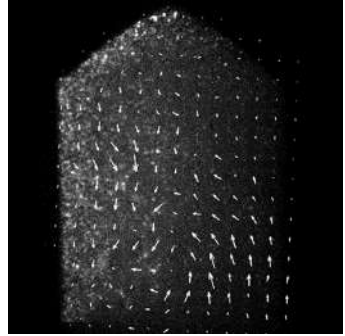
*В.В. Перетяцько<sup>1</sup>, студ.;  
рук. Д.А. Бирюков<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.  
(<sup>1</sup> – НИУ «МЭИ», <sup>2</sup> – ОИВТ РАН)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ В КАВИТИРУЮЩЕЙ СТРУЕ

При прокачивании жидкости через сужающее устройство может возникнуть свечение кавитационных пузырьков — гидролюминесценция. Свечение может наблюдаться либо в наименьшем сечении сужающего устройства, либо в кавитирующей струе на выходе из сужающего устройства. Свечение на выходе крайне слабое и сложно различимо даже в полной темноте, именно она на наш взгляд ближе всего к многопузырьковой сонолюминесценции, возникающей при акустическом воздействии. Вопрос теории происхождения сонолюминесценции остается открытым до сих пор. Возможно, поиски подобных явлений и их исследование позволит приблизиться к ответу на фундаментальный вопрос о свечении кавитирующего пузырька.

В 2021 г. Хитоши Саяма исследовал кавитацию в трубе Вентури, используя метод высокоскоростной съёмки [1]. Автор описал поведение кавитирующей струи — край струи разрушается, а затем рассеивается вниз по потоку, причём скорость рассеивающейся области выше, чем скорость основной струи. Нахождение скорости потока важно для определения граничных условий, в которых находится схлопывающийся пузырек. Оценка поля скорости в кавитирующей струе глицерина проводилась методом цифровой трассерной визуализации, основанном на определении перемещения взвешенных в потоке частиц за заданный интервал времени.

Построение поля скорости проводилось в ПО ActualFlow. На рис. 1 показан результат обработки. Съёмка проводилась для пяти разных сечений, затем результат усреднялся. Интервал времени между кадрами равен 150 мкс, а перепад давлений 19 атм. По полученному полю скорости была найдена средняя скорость глицерина — 0.19 м/с. Экспериментально получены распределения скоростей в кавитирующей струе глицерина.



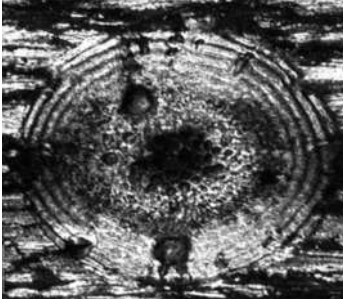
**Рис. 1.** Поле скорости в кавитирующей струе глицерина

### Литература

1. **Hitoshi Soyama.** Luminescence intensity of vortex cavitation in a Venturi tube changing with cavitation number // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. V. 71.

*А.В. Беляев, к.т.н., ст. преп.; Н.Е. Сидельников, студ.;  
рук. А.В. Дедов, доц, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕПЛОБМЕН ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА В МИНИКАНАЛЕ**



**Рис. 1.** Фотография и вид профиля сечения образования в результате воздействия лазерного импульса  $I=130$  А,  $d=390$

В докладе представлено описание экспериментального стенда, метода модификации внутренней стенки миниканала, показаны опытные данные о коэффициенте теплоотдачи, КТП, гидродинамике и кривые кипения. Данные получены на одной трубке из нержавеющей стали до модификации и после.

Модификация внутренней стенки канала осуществлялась с помощью воздействия лазерного импульса на внешнюю поверхность стенки канала. После воздействия на внутренней стенке образовывалось наплавление разной высоты и диаметра в зависимости от мощности излучения. Были получены различные образования в зависимости от мощности лазерного импульса.

В результате анализа полученных поверхностей подобраны оптимальные параметры лазерного импульса.

Наибольшее влияние модификации наблюдается при  $p_r = 0.43$  для расхода  $G = 1260$  кг/(м<sup>2</sup>с), увеличение КТО составило в среднем 110%, для расходов  $G = 420$  кг/(м<sup>2</sup>с) и  $800$  кг/(м<sup>2</sup>с) — 65% и 100% соответственно. На рис. 3 представлены кривые кипения, полученные до и после модификации при одинаковых условиях течения. На модифицированной поверхности наблюдается уменьшение перегрева стенки относительно температуры насыщения

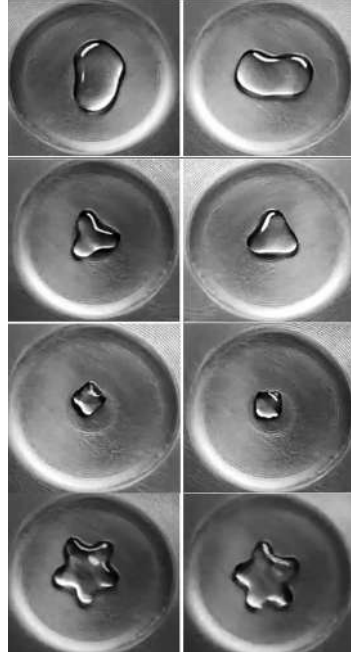
Я.Н. Ясенов, студ.;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАПЕЛЬ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЛЕЙДЕНФРОСТА

В работе исследовалось взаимодействие капли жидкости (вода) с нагретой до околокритической температуры поверхностью из чугуна марки СЧ-15. Исследовался диапазон температуры поверхности от  $140^{\circ}\text{C}$  до  $240^{\circ}\text{C}$ . Рассматривались как столкновение капли, брошенной с небольшой высоты, с нагретой поверхностью (с анализом двух сценариев взаимодействия с металлом поверхности) так и стационарное пребывание капель над подложкой в режиме Лейденфроста, их моды колебаний и критический размер, рис. 1.

В эксперименте было выделено несколько групп капель, отличающихся формой, размером и происхождением: малые дочерние капли, капли порядка капиллярной постоянной и большие капли — лужицы плоской формы с поперечным размером до 10 капиллярных постоянных с характерной толщиной порядка капиллярной постоянной. Определялись критерии Вебера и Бонда при падении капель с высоты на нагретый металл и при возбуждении поверхностных волн в больших каплях,

а также критерий Фурье, толщина парового слоя под каплями, парящими над нагретой поверхностью, а также толщина слоя перегретой жидкости, при кратковременном соприкосновении капли с поверхностью нагретой подложкой. Была определена зависимость температуры нижней границы эффекта Лейденфроста от температуры капли. Было установлено, что для определенной температуры поверхности существует предельное значение характерной ширины капли — лужицы лишь до определенного критического размера.



А.Е. Кошелева<sup>1</sup>, студент; рук. Д.А. Бирюков<sup>2</sup>, к.т.н.

(<sup>1</sup> НИУ «МЭИ», <sup>2</sup> ОИВТ РАН, Москва)

## ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Гидролюминесценция (ГЛ) — свечение, возникающее при интенсивной кавитации. Для генерации ГЛ была создана экспериментальная установка, в которой под большим давлением протекает вода через сужающее устройство. Во время эксперимента свечение возникает в центральной части гидродроселя. Вероятнее всего, оно обусловлено электрокинетическими явлениями.

В некоторых работах появилось описание нового способа дезинфекции воды. Одна из них — работа В.О. Абрамова [1], в которой исследовалось сочетание гидродинамического и плазменного метода. В создании разности потенциала использовался внешний источник питания, который подводил разность потенциалов в кавитирующую область с помощью электродов. Одновременная гидродинамическая кавитация и обработка плазменным разрядом вызывали ударные волны, ультрафиолетовое излучение, образование гидроксильных радикалов и озона. Мы попробуем в своей работе подвести электричество в гидродросель без использования электродов, тем самым снизив негативное воздействие электродов на жидкость, подключая источники напряжения к фланцам, между которыми зажат гидродросель.

При проведении экспериментов, действительно, наблюдалось пурпурно-красное свечение, также был снят и обработан его спектр (Рис. 1). Стоит отметить, что при выполнении данного эксперимента не использовались электроды, а, соответственно, в поток не вносились их частицы.

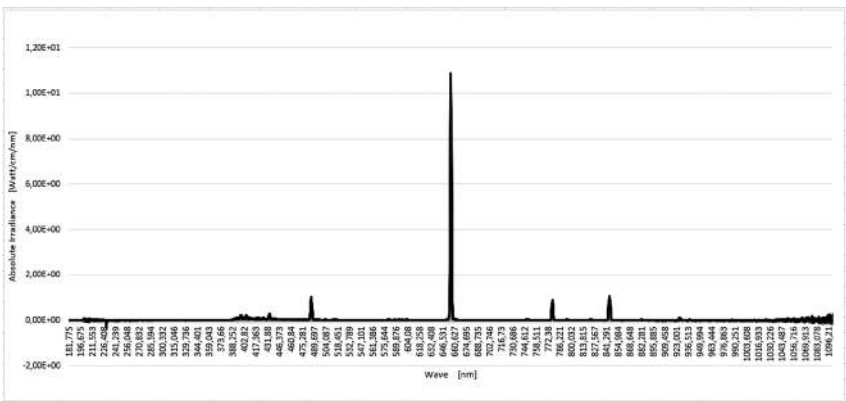


Рис. 1. Спектр излучения при проведении эксперимента

### Литература

1. Abramov V.O. et al. Flow-mode water treatment under simultaneous hydrodynamic cavitation and plasma // Ultrasonics Sonochemistry. — 2021. — Т. 70. — С. 105323.



*В.А. Маслов, М.Д. Селезнева, студ.;*  
*рук. В.В. Сероштанов, к.т.н., доц. (СПбПУ, Санкт-Петербург)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТАНДЕМЕ ЦИЛИНДРОВ

В Научно-образовательном центре «Теплофизика в энергетике» выполнено экспериментальное исследование течения и теплообмена в тандеме круговых цилиндров для двух случаев их взаимного расположения: в ряд один за другим и со смещением.

Цель работы — определить тепловой поток и коэффициент теплоотдачи на поверхности второго цилиндра и связать параметры теплообмена с отрывным течением вблизи обтекаемой поверхности. Исследования проведены с использованием градиентной теплотометрии [1].

В качестве экспериментальной модели использованы полые цилиндры, обогреваемые насыщенным водяным паром. Диаметр цилиндров 66 мм, длина 600 мм. Градиентный датчик теплового потока монтировался на наружной поверхности нижнего по потоку цилиндра. Исследуемый цилиндр имеет возможность проворачиваться вокруг оси на угол  $\varphi = 0...180^\circ$  с целью получения зависимости местной плотности теплового потока от угла поворота. В эксперименте варьировалась скорость и измерялась температура набегающего потока. Второй цилиндр может перемещаться на расстояние  $\pm 0,5$  калибра по вертикали.

На рис. 1 представлены кривые распределения местного числа Нуссельта ( $Nu_\varphi$ ) на втором цилиндре. В рядном расположении отсутствует явный минимум в отличие от шахматного, где для верхней полуповерхности распределение  $Nu_\varphi$  качественно совпадает с распределением по одиночному цилиндру. Смещение второго цилиндра влияет на КТО вплоть до кормовой области во всем диапазоне режимов.

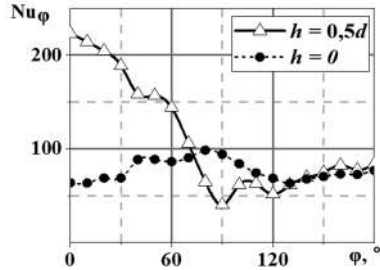


Рис. 1. Местное число Нуссельта по второму цилиндру ( $Re = 9600$ )

### Литература

1. В.В. Сероштанов, В.А. Маслов, М.Д. Селезнева, А.В. Митяков. Анализ течения и теплообмена при обтекании круговых цилиндров. XXVI Всероссийский Семинар С Международным Участием По Струйным, Отрывным И Нестационарным Течениям. Материалы докладов. Санкт-Петербург, 2022. С. 168–169.

*А.С. Киселев, И.С. Ястребов, студенты;  
рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф.,  
А.В. Лавриков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В МИКРОКАНАЛЕ**

В микроканале при высоких тепловых нагрузках возникает реверс потока и необходима интенсификация теплообмена.

В 2016 Шустов М.В. [1], исследуя кипение воды в микроканале с размерами  $13.7 \times 3 \times 0.2$  мм с покрытием из наночастиц  $Al_2O_3$ , обнаружил повышение критической тепловой нагрузки на 50 %. Используя уравнение Сухова Б.Ю. [2], в работе [3] получено модифицированное уравнение для критической тепловой нагрузки при кипении в микроканале с покрытием из наночастиц. Однако в докризисной области при шероховатости поверхности  $Rz=1,5$  мкм покрытие из наночастиц не оказало заметного влияния на теплоотдачу.

Между тем известны сведения о повышении теплоотдачи при течении в канале наножидкости с одностенными и многостенными нанотрубками [4], а также росте теплоотдачи при кипении в большом объеме с покрытием из углеродных нанотрубок [5]. В связи с этим мы намереваемся провести исследование теплоотдачи при кипении в микроканале наножидкости с нанотрубками.

### **Литература**

1. **М.В. Шустов** «Исследование кипения в микроканале с покрытием из наночастиц», Автореферат кандидатской диссертации, 2016.
2. **Dzyubenko B, Kuzma-Kichta Yu, Leontiev A, Fedik I, Kholpanov L.** «Intensification of Heat and Mass Transfer on Macro-, Micro-, and Nanoscales», Begell House, 2016 ISBN: 978-1-56700-284-3
3. **Yu.A. Kuzma-Kichta, A.V. Lavrikov, M. Shustov, E.A. Kustova, N.S. Ivanov, E.A. Kuleshov and A.S. Kiselev** Heat transfer crisis investigation in microchannel without and with coating from nanoparticles, Journal of Physics: Conference Series, al 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1683 022087
4. **В.Я. Рудяк, А.В. Минаков, М.И. Пряжников, Д.В. Гузей** «Измерение теплопроводности и теплоотдачи наножидкостей с одностенными нанотрубками», ТВТ 2022, № 3, с. 1–9.
5. **Issam Mudawar, Placidus B. Amama, Timothy S. Fisher** «Enhanced Pool Boiling Using Carbon Nanotube Arrays on a Silicon Surface», Proceedings of IMECE: International Mechanical Engineering Congress and Exposition November 5–11, 2005, Orlando, Florida

*А.Р. Ахмадуллина, студент;  
рук. Ю.П. Ивочкин, д.т.н. (Москва, ОИВТ РАН)*

## **РАЗРАБОТКА ЛЕВИТАЦИОННОГО МЕТОДА ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИНДУКТОРЕ**

Индукционный нагрев применяется для решения большого количества актуальных научных и экологических проблем, включая утилизацию и переработку космического мусора [1]. Наведенные вихревые токи удобно использовать для плавления образцов в различных исследовательских экспериментальных стендах, например, в установках по физическому моделированию маломасштабного парового взрыва [2].

В ходе изучения механизма парового взрыва проведены опыты по индукционному нагреву и плавлению различных образцов металла с последующим резким опусканием нагретого образца в ёмкость с водой. Экспериментально подтверждена работоспособность разработанной левитационной методики плавления.

С целью изучения тепловых и магнитогидродинамических процессов, происходящих как внутри, так и на поверхности шарообразных образцов металла / (жидкометаллической капли), создана численная модель эксперимента в программе Comsol Multiphysics. Результатами расчёта являются полученные графики полей: температур, плотности электрического тока, сил, действующих на металл, и движения расплава внутри оксидной оболочки.

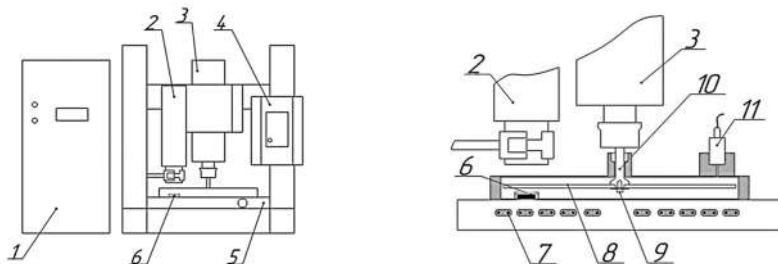
### **Литература**

1. **Vinogradov D.A., Glazkov V.V., Ivochkin Yu.P., Kubrikov K.G., Teplyakov I.O., Sinkevich O.A.** Evaporation and sparking during induction heating of metallic drops in relation to utilization of space debris // JPCS 2057 (2021) 012056.
2. **Ivochkin Yu.P., Kubrikov K.G., Teplyakov I.O.** The study of the liquid metal drops fragmentation Experimental study of thermo-hydrodynamic processes related to the film boiling crisis // JPCS 1556 (2020) 012031.

В.С. Баранова<sup>1</sup>, студ.; Д.А. Бирюков<sup>2</sup>, к.т.н, ст.н.с.  
(<sup>1</sup> НИУ «МЭИ»; <sup>2</sup> ОИВТ РАН)

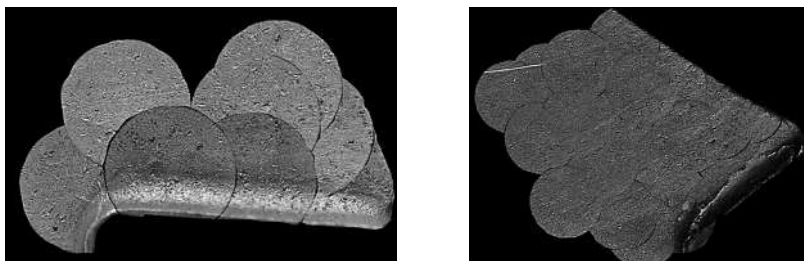
## КАВИТАЦИЯ В ЖИДКИХ МЕТАЛЛАХ

Целью данной работы является получение кавитации в жидком металле. Для достижения поставленной задачи была разработана следующая экспериментальная установка (Рис. 1).



**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментального стенда и рабочий участок экспериментальной установки: 1 — чиллер, 2 — МКС-15ЭЦ, 3 — шпиндель, 4 — векторный преобразователь частоты, 5 — блок нагревательного элемента, 6 — источник гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$ , 7 — нагревательные элементы, 8 — диск кавитации с перфорацией, 9 — зажимной винт для диска, 10 — вал шпинделя, 11 — Датчик контроля интенсивности кавитации

В качестве первого исследуемого образца жидкого металла был использован индий галлий. Явление кавитации оказывает воздействие на поверхность диска кавитации. С помощью микроскопа были сделаны фотографии участков (Рис. 2) поверхности диска до эксперимента с индий-галлием и после.



**Рис. 2.** Поверхность диска до (слева) и после проведения эксперимента (справа)

Основное изменение коснулось слоя латуни на кромке диска. После проведения эксперимента было замечено, что данный слой практически полностью был убран кавитацией. На поверхности диска так же были замечены новые повреждения, которые можно заметить при детальном сравнении двух фотографий. В ходе эксперимента было замечено появление устойчивой пены на поверхности слоя жидкого металла.

### Литература

1. Пирсол И. Кавитация. Пер. с англ. Ю.Ф.Журавлева М.: Мир, 1975.

М.Д. Филиппов, студ.; рук. А.В. Дедов, доц., д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПУЗЫРЬКОВОМ КИПЕНИИ НА СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Кипение жидкости является одним из наиболее эффективных способов теплоотвода и характеризуется большими коэффициентами теплоотдачи. Важной задачей науки является создание наиболее оптимального способа охлаждения устройств, путем увеличения интенсивности теплообмена. Пузырьковое кипение является одним из наиболее применяемых способов для решения данной задачи.

В работе выполнено экспериментальное исследование интенсификации теплообмена на микроструктурированных поверхностях, полученных путём формирования микрошероховатостей с помощью лазерной обработки поверхности, при различных давлениях. Представлены результаты выполненных экспериментальных исследований

В работе был использован образец, полученный при помощи лазерной обработки. В качестве образца использовался диск из нержавеющей стали диаметром 30 мм и толщиной 2 мм. В качестве рабочих жидкостей применялись фреоны *R113*, *RC318* и диэлектрическая жидкость *Novec 7100*.

Увеличение критического теплового потока (КТП) при кипении на структурированной поверхности в сравнении с расчетом по формуле Кутателадзе находится в диапазоне 11–17 % для *R113*, 11–27 % для *Novec 7100*. Для *RC318* увеличение составляет около 20 % для давлений (4–7) атм увеличиваясь до 31 % для давлений (8–10) атм. На рисунке 1 представлены кривые кипения *Novec 7100* при различных давлениях.

Представленный метод модификации поверхности позволяет увеличить КТП, что подтверждается выполненными экспериментами.

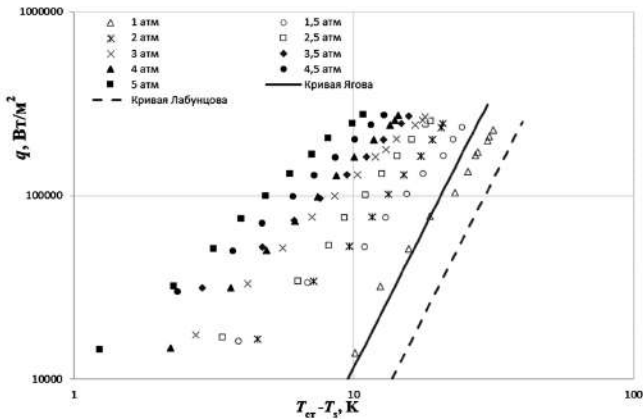


Рис. 1. Кривые кипения *Novec 7100* при различных давлениях

*А.В. Швыдкая<sup>1</sup>, студент; рук. Д.А. Бирюков<sup>2</sup>, к.т.н.  
(<sup>1</sup> НИУ «МЭИ», Москва, <sup>2</sup> ОИВТ РАН, Москва)*

## **СНИЖЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОСАДКА ИСТОЧНИКОМ УЛЬТРАЗВУКА**

Образование термического осадка при пастеризации молока является существенной проблемой в пищевой промышленности, вследствие которой увеличивается гидравлическое сопротивление системы и термическое сопротивление теплообменной поверхности, что ведет к снижению качества готовой продукции и к увеличению затрат электроэнергии.

Проблему может решить воздействие ультразвуковых колебаний на пристеночный слой жидкости. Создаваемые вторичные вихри у поверхности нагрева, ведут к интенсификации теплообмена и значительному снижению скорости образования термического осадка. Необходимо изучить возможность использования ультразвуковых колебаний в производстве для улучшения качеств теплообменных аппаратов и экономии ресурсов предприятий.

Для моделирования условий теплообмена в реальных пастеризационных установках, был спроектирован и изготовлен теплообменный аппарат, состоящий из двух прямоугольных участков, соприкасающихся друг с другом одной плоскостью. На равном удалении от входа и выхода вмонтированы крепления для ультразвуковых волноводов. Съемная крышка позволяет производить визуальные осмотр теплообменной поверхности и производить все необходимые измерения.

Рассматривалось три конфигурации эксперимента: без источника ультразвука; с источником ультразвука; с источником ультразвука, закрепленным через проставку. Во время проведения эксперимента измерялись параметры температуры жидкостей до входа в контур и после выхода из него. Также фиксировались показания расхода жидкостей и давления внутри контура. После каждого из опытов проводилось измерение термического осадка.

После проведенного исследования было установлено, что под воздействием ультразвуковых колебаний значительно снижается образование термического осадка на поверхности теплообмена.

### **Литература**

1. **Шептун В.М.** Влияние акустических колебаний на процесс теплообмена в аппаратах, работающих в условиях солеотложения. — 1984.

*К.В. Запоржин, студент (НИУ «МЭИ»); Оскирко В.А.;  
руководитель Д.А. Олексюк, к.т.н. (НИЦ «Курчатовский Институт»)*

## **РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ ДИСТАНЦИОНИРУЮЩИХ РЕШЁТОК (ПДР) В ТВС-КВАДРАТ РЕАКТОРА PWR**

В работе представлены некоторые предварительные результаты исследований, выполненных на многостержневых моделях ТВС-КВАДРАТ конструкции «ОКБМ Африкантов» для реакторов PWR [1]. Дистанционирующие решётки реакторов типа PWR имеют сложную конструкцию и, помимо дистанционирования твэлов, выполняют еще функцию интенсификации массо- и теплообмена за счет наличия элементов, отклоняющих и закручивающих поток теплоносителя.

При расчете по программам, основанным на ячейковом подходе, большое внимание уделяется расчету потерь давления в каждом узле расчетной сетки. От правильности расчета перепада давления в каждой ячейке пучка зависят поперечные конвективные перетоки, а, следовательно, и все основные распределения параметров. Следовательно, точность всего расчёта также зависит от расчёта гидравлических сопротивлений.

Целью данной работы было исследование гидравлического сопротивления с применением усовершенствованной методики из работы [2] и различных подходов к расчёту дистанционирующих решёток (ДР) типа ПДР. Было выявлено, что раздельное прецизионное рассмотрение элементов ДР по высоте приводит к изменению общего коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) на 20%, что оказывает влияние на результаты теплогидравлических расчётов.

Были выполнены расчеты при использовании ячейковой теплогидравлической программы SC-INT [3], где использовался рассчитанный КГС по методике выше, и CFD-кода STAR-CCM+ [4]. В работе оценено влияние КГС на параметры теплоносителя в кассете. Сравнение проведено по таким параметрам как: перепад давления по высоте и минимальный запас до кризиса теплоотдачи (DNBR). Результаты данной работы будут полезны разработчикам дистанционирующих решёток с целью совершенствования их конструкции.

### **Литература**

1. **Добров, А.А.** Применение современных CFD-кодов для моделирования теплогидравлических процессов в ТВС-КВАДРАТ реактора PWR / А.А. Добров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. — 2016. — № 3. — С. 55–63.
2. **М.Х. Ибрагимов, Л.Л. Кобзарь.** Расчет коэффициента гидравлического сопротивления и профиля скорости в трубах с регулярной шероховатостью. Атомная энергия, т. 37, вып. 4. Октябрь 1974.
3. **Олексюк Д.А. Кобзарь Л.Л.** ПРОГРАММА SC-INT (версия 03) ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ — 2013 г.
4. Программный комплекс STAR-CCM+. [электронный ресурс]. URL: <https://www.saec.ru/simcenter/star-ccm/> (дата обращения 10.11.2022).

*Е.В. Анфалова, студент;  
рук. И.С. Антаненкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИХОДА СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА НАКЛОННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТ**

Основная особенность энергоустановок с солнечными коллекторами, которая отличает их от теплогенераторов других видов, заключается в цикличности их работы. Ввиду этого, наибольшую практическую значимость представляет работа солнечной энергоустановки (СЭУ) на автономного потребителя, мощность которого может составлять от нескольких до сотен кВт. Повышению эффективности таких установок способствует создание комбинированных теплогенерирующих систем на базе сочетания СЭУ с системами аккумуляции и/или трансформации энергии. Проектные параметры оборудования таких установок и оптимизация режимов их работы будут определяться, прежде всего, местом их размещения (географической широтой). При этом получение максимально возможного теплового потока от солнечной радиации возможно только при правильной ориентации теплопринимающей поверхности в пространстве (при выборе оптимального угла наклона).

Цель работы — определение и сравнительный анализ оптимальных углов наклона теплопринимающих поверхностей СЭУ, расположенных на различных географических широтах России (на примере г. Сочи и г. Москва).

Для расчетов прихода солнечной энергии на наклонную площадку применялась методика [1], позволяющая при минимальном наборе исходных данных (широте, расположению по отношению к экватору, коэффициенту отражения земли, солнечной постоянной и номеру расчетного дня года) определять средне-месячную суточную солнечную радиацию на горизонтальную и наклонную (под различными углами) поверхности.

Полученные результаты ожидаемо показали, что в выбранных городах оптимальные углы наклона солнечных батарей будут иметь разные значения. Закономерно, что даже при оптимальных углах наклона теплопринимающей поверхности для каждого месяца приход суммарной солнечной радиации для г. Сочи существенно выше, чем для г. Москвы.

### **Литература**

1. **Рамадан А., Елистратов В.В.** Оценка прихода солнечной энергии и выбор оптимального угла наклона солнечной батареи для условий Сирии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018;22–24:12–27.



*И.Р. Тельнов, студ.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

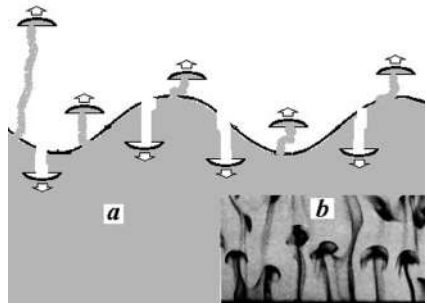
Естественная конвекция встречается в природе повсеместно. Построение модели, наиболее точно отражающей суть этого процесса, важная прикладная задача, находящая применение во многих сферах.

В данной работе была поставлена цель построить иерархическую модель турбулентности при естественной конвекции. Иерархичность модели подразумевает упорядочивание структур, возникающих при развитии естественной конвекции и выделение характерных размеров этих структур.

Описание полей скорости, температуры и давления уравнениями Навье-Стокса, рассматривается в приближении Буссинеска.

В рассматриваемой модели возникновение и развитие естественной конвекции, рассматривается как развитие неустойчивости Релея-Тейлора на границе слоев нагретой и холодной жидкости. Из дисперсионного уравнения получены характерные значения инкремента нарастания амплитуды волн на границе раздела. При полном развитии неустойчивости из волн формируются термики, рис. 1b, различных характерных размеров, рис. 1a. Развитие естественной турбулентности рассматривается как каскадный процесс, имеющий фрактальную структуру [1].

Иерархия характерных размеров термиков имеет нижнюю границу, которая определяется процессом теплообмена через теплопроводность.



**Рис. 1.** Иерархия термиков, возникающая при естественной конвекции

### **Литература**

1. **Зимин В.Д., Фрик П.Г.** Турбулентная конвекция. М.: Наука, 1988.
2. **Ван-Дайк М.**, Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир, 1986.

В.И. Волков<sup>1</sup>, студ.; рук. Д.А. Бирюков<sup>2</sup>, к.т.н.  
(<sup>1</sup> НИУ «МЭИ», <sup>2</sup> ОИВТ РАН)

## СВИНЦОВАЯ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННАЯ КОНВЕКЦИЯ

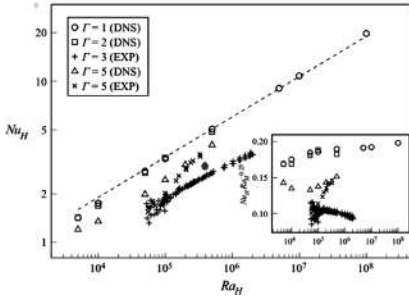


Рис. 1. Зависимость Nu от Ra

В настоящее время жидкие металлы являются перспективным теплоносителем. Некоторые из них уже используются на практике: жидкий литий, как теплоноситель в реакторах ТОКАМАК, и свинец — в реакторе БРЕСТ-ОД-300.

В [1] рассмотрена вертикальная термогравитационная конвекция различных жидких металлов. На рис. 1 представлены полученные результаты моделирование и данные из работы [1] зависимости числа Нуссельта Nu от числа Рэллея Ra. Красной точкой отмечено, полученное нами значение.

За рабочий участок экспериментальной установки был взят прямоугольный параллелепипед из свинца с размерами 80x80x800, который был заполнен жидким свинцом. Одна сторона четырёхгранника нагревается электрическим током с помощью керамических нагревателей. Противоположная стенка охлаждается с помощью обдува воздухом. Температура свинца, а также скорости течений, создаваемых конвекцией измеряются с помощью термопарного зонда.

На начальном этапе произведено моделирование данного процесса. Между стенками по середине термогравитационной ячейки образуется застойная зона. Основное движение свинца происходит по стенкам, откуда тепло подводится и отводится. При рассмотрении температуры, мы наблюдаем наибольшую температуру сверху нагреваемой стенки, а наименьшую — снизу охлаждаемо. Были посчитаны число Ra и Nu по формулам (1) и (2) соответственно.

$$Ra = \frac{\beta * g * H^3 * \Delta T * Pr}{\nu^2} \tag{1}$$

$$Nu = \frac{q * H}{\rho * c_p * a * \Delta T} \tag{2}$$

В ходе данной работы было произведено моделирование процесса термогравитационной конвекции свинца. Полученные расчетные данные оказались схожими с ранее известными данными других экспериментов.

### Литература

1. Dynamics and length scales in vertical convection of liquid metals. Lukas Zwirner, Mohammad S. Emran, Felix Schindler, Sanjay Singh, Sven Eckert, Tobias Vogt and Olga Shishkina.

*Н.С. Тертышный<sup>1</sup>, студ.; рук. И.А. Беляев<sup>2</sup>, к.т.н.,  
соавторы Л.М. Делицын<sup>2</sup>, д.т.н.; Р. В. Кулумбегов<sup>2</sup>, к.т.н.  
(<sup>1</sup> НИУ «МЭИ», <sup>2</sup> ОИВТ РАН)*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФТОРИДА ЛИТИЯ И КАРБОНАТА ЛИТИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ**

С начала XXI века спрос на литий устойчиво растет. Наибольшая доля этого роста приходится на материалы для электрохимических источников тока — перерабатываемых литий-ионных батарей.

Россия при значительных запасах литиевого сырья не имеет собственного его производства. Современные реалии, связанные с необходимостью обеспечения независимости России от импорта заставляют разрабатывать эффективные технологии получения литиевых солей из отечественного сырья.

В рамках проекта, основывающемся на работе [1], предполагается разработка научно-технологических основ синтеза фторида и карбоната лития из сподумена  $LiAlSi_2O_6$  со стабилизированным составом и фиксированными физико-химическими свойствами, пригодных для использования в востребованных отраслях промышленности. В основе метода получения фторида лития используется ликвационная плавка с солями щелочных металлов. Метод получения карбоната лития основан на низкотемпературном спекании сподумена с солями органических кислот.

Задачи, решаемые в ходе проекта укрупненно, можно обозначить как:

- Проведение комплексных исследований для освоения методов получения фторида лития и карбоната.
- Изучение параметров исходной руды для оптимизации процессов её переработки.

Научная новизна аппаратного оформления состоит в разработке реакторов для синтеза растворимой соли лития в виде печи для ликвационной плавки с разделным сливом продуктов (для фторида лития) и непрерывного процесса спекания сподумена (для карбоната лития).

В ходе данной работы были разработаны технологические схемы получения фторида и карбоната лития. На начальном этапе для освоения ацетатного метода также был создан низкотемпературный реактор со встроенной вертикальной мешалкой.

### **Литература**

1. Основные положения предлагаемого проекта опубликованы в статье: Л.М. Делицын, Р.В. Кулумбегов, В.А. Синельщиков, О.С. Попель, М.Г. Сульман. ЛИКВАЦИОННАЯ ПЛАВКА СИСТЕМЫ  $LiAlSi_2O_6 - Na_2SO_4 - NaF$  КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ФТОРИДА ЛИТИЯ // Неорганические материалы. 2022. № 10.

*И.С. Сапожников; рук. В.И. Солонин, д.т.н., проф.  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО ТЕЛА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАПОРНО-РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДАТОЧНОГО КОЛЛЕКТОРА АКТИВНОЙ ЗОНЫ БРЕСТ-ОД-300**

Численное моделирование (CFD) течения в области входного коллектора активной зоны БРЕСТ-ОД-300 с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса [1] (RANS) сопряжено с высокими затратами вычислительных ресурсов. Это связано с высокими значениями чисел Рейнольдса и необходимостью учитывать перераспределение расходов между хвостовиками тепловыделяющих сборок, блоков отражателя и защиты. При этом в установке используются хвостовики разных типов, а их внутренний тракт затеснен цанговым замком.

Для экономии вычислительных ресурсов в инженерной практике применяется CFD-подход с использованием модели пористого тела. В этом случае воспроизведение локальных параметров потока не представляется возможным, поэтому моделирование напорно-расходных характеристик гидравлически неоднородных систем требует обоснования.

С целью валидации расчетных методик проведено численное моделирование аэродинамических экспериментов на макете входного участка активной зоны БРЕСТ-ОД-300, разработанного в лаборатории «Реакторная теплофизика» кафедры Э7 МГТУ им. Н.Э. Баумана. В качестве определяющих параметров выбраны значения статического давления в 96-ти точках в напорной камере и хвостовиках изделий активной зоны, а также значения расходов на входе и выходе 48-ми хвостовиков.

Комбинированная расчетная модель (CFD-код Star-CCM+) базируется на уравнениях пористого тела во внутренних трактах хвостовиков и на уравнениях RANS (модель турбулентности « $k-\epsilon$  Realizable») в пространстве между хвостовиками и за их пределами.

Отклонения расчетных давлений и расходов от экспериментальных данных составили не более 8,2% и 7,4% соответственно. Отклонения от результатов моделирования с использованием только RANS во всех трактах макета составили не более 2,2% и 1,3% соответственно, количество контрольных объемов при этом увеличилось в 4 раза.

### **Литература**

1. Wilcox D.C. Turbulence Modeling for CFD, 3 ed. DCW Industries, 2006.

Е.Ю. Скотаренко, студ.;  
рук. О.А. Синкевич, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ИЗМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПАДЕНИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦУ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Способы изменения состояния облачных масс интересны для множества прикладных задач. Качественное и количественное описание механизмов воздействия на грозовые облака позволило бы как предотвращать нежелательные атмосферные явления на стадии их зарождения, так и провоцировать возникновение, например, дождя.

Для предложенной в работе [1] модели “двухфазное грозовое облако — влажная атмосфера” произведены оценки частот колебаний границы грозового облака, которые составили  $\omega \sim 10^{-3} \dots 10^{-2}$  Гц [2]. На основании этих значений стало ясно, что использование акустических генераторов для воздействия на возмущённую границу требует модуляции сигнала.

Получено выражение для изменения давления в акустической волне при её прохождении через плоскую возмущённую по гармоническому закону границу облака (рис. 1) [2]:

$$\delta P'_s(z, t) = 2k_s \gamma_s \xi_0 \cos\left(\omega_s t + \frac{\pi}{2}\right) e^{i(kx + \omega t)}, \quad (1)$$

$$\gamma_s = \frac{2\rho_f a_{sf}}{\rho_f a_{sf} + \rho_a a_{sa}} \left(\frac{a_{sa}}{a_{sf}} - 1\right) + 2 \frac{\rho_f a_{sf} - \rho_a a_{sa}}{\rho_f a_{sf} + \rho_a a_{sa}}. \quad (2)$$

Здесь индекс  $s$  указан для величин, относящихся к акустической волне,  $f$  — для грозового облака,  $a$  — для атмосферного воздуха, отсутствие индекса — для границы грозового облака;  $\omega$  — собственная частота колебаний, Гц;  $t$  — время, с;  $k = k(k_x, k_y, k_z)$  — волновой вектор, м<sup>-1</sup>;  $\rho$  — плотность среды, кг·м<sup>-3</sup>;  $a_s$  — скорость звука в среде, м·с<sup>-1</sup>.

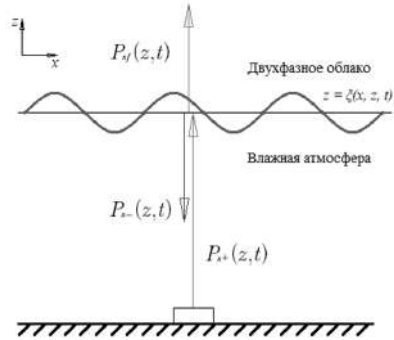


Рис. 1. Граница грозового облака, испытывающая возмущения  $z = \xi(x, y, t)$  и акустическое воздействие

### Литература

1. Синкевич О.А. О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозового облака и турбулентной атмосферы // Теплофизика высоких температур. — 2016. — Т. 54. — № 6. — С. 827–834.
2. Скотаренко Е.Ю. Методы акустического воздействия на электрически заряженную границу грозового облака. Диссертация бакалавра. НИУ МЭИ. 2021. 47 с.

Ж. Балкес, студ.; Ю.В. Люлин, к.ф.-м.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО РАДИАЛЬНОГО КОНДЕНСАТОРА ПАРА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КТТ

Проблема терморегуляции и охлаждения оборудования остро стоит при создании высокоэффективных мини- и микросистем, что обусловлено высокими температурами развития силовой и микро-электроники (чипы, лаборатории в чипах, светодиодная техника, лазеры, радары, конверторы и инверторы и др.). Перспективным решением интенсификации передачи тепла является использование пассивных двухфазных теплопередающих устройств, работающие по замкнутому испарительно-конденсационному циклу с использованием капиллярно-пористой структуры для прокачки теплоносителя в зону испарения, [1]. Данным устройством является контурная тепловая труба (КТТ).

Важнейшей частью КТТ является конденсатор пара, параметры которого необходимо рассчитать для эффективной работы КТТ. В данной работе представлена трехмерная (3D) модель, разработанная для анализа работы конденсатора КТТ в стационарном режиме. Конденсатор пара КТТ имеет цилиндрическую форму с радиальным продольным оребрением, рис. 1а. Охлаждение внешней поверхности ребристой поверхности теплообмена происходит за счет принудительного движения воздуха. Расчеты произведены с использованием программы Ansys. На рис.1б представлен результат расчета распределения температуры в конденсаторе пара. Определенно, что длина конденсатора для отвода теплоты 300 Вт составляет 150 мм.

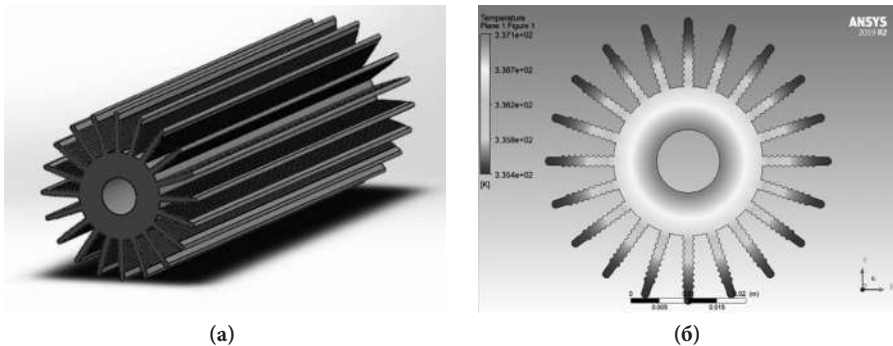


Рис. 1. Конденсатор КТТ; (а) геометрия; (б) Распределение температуры

### Литература

1. Майданик Ю.Ф. Контурные тепловые трубы — высокоэффективные теплопередающие устройства // Инновации. 2003. № 5. С. 83–86.

*Е.А. Белавина, асп.; Д.А. Бердюгин, студ.;*  
*рук-ли Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН)*

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ИМИТАТОРОВ РАСПЛАВА СОЛИ В УСЛОВИЯХ, АКТУАЛЬНЫХ ДЛЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК GIV - IV**

В настоящий момент актуальным является вопрос поиска решений в области создания реакторных установок, позволяющих в рамках своей кампании ликвидировать проблему ограниченности топливных ресурсов, а также реализовать концепцию замкнутого ядерного топливного цикла. Возможным решением в этой области может послужить реактор с расплавом солей, который входит в перечень конструкций реакторов IV поколения и потенциально обладает наибольшей пассивной безопасностью из шести моделей, рассмотренных в рамках GIV-4 [1]. В долгосрочной перспективе технологии жидкосолевых ядерных реакторов (ЖСР) с циркулирующим топливом могут быть востребованы как для создания Th-U размножителя (ЖСР-Р), так и в качестве нового элемента в системе ядерной энергетики в симбиозе с реакторами для дожигания минорных актинидов (америдий, кюриум, нептуний) из ОЯТ твёрдотопливных реакторов (ЖСР-С) [2]. В связи с этим, комплексное исследование, состоящее из изучения свойств перспективных теплоносителей, а также создание надежной экспериментальной и расчетной баз для верификации инженерных кодов, представляют особый интерес для проектирования реакторных установок. Работа в этой области ведется коллективом авторов НИУ «МЭИ»-ОИВТ РАН.

На начальном этапе было проведено экспериментальное исследование смешанной конвекции имитатора расплава соли (30% водный раствор КОН) в условиях однородного обогрева ( $Gr=2,7 \cdot 10^6 - 3,9 \cdot 10^7$ ) и сильного поперечного магнитного поля ( $Ha=17$ ) в вертикальных и горизонтальных трубах при режимных параметрах, соответствующим переходным режимам ( $Re=3000-7000$ ) и развитой турбулентности ( $Re=10000-14000$ ). Наблюдалось увеличение интенсивности пульсаций температуры в области переходных режимов, тогда как в условиях развитой турбулентности температурные пульсации были полностью подавлены магнитным полем [3, 4].

В результате исследований, проводимых для горизонтальных круглых труб в условиях однородного обогрева ( $Gr=5,4 \cdot 10^6 - 3,7 \cdot 10^7$ ), были обнаружены режимы, в которых воздействие поперечного магнитного поля, доступного в эксперименте (2,7 Тл) приводит к качественным и количественным изменениям в профилях безразмерной температуры. Данный результат наблюдается при числах  $Ri$  ( $0.1 < Ri < 1$ ) [3, 4].

Дальнейшее исследование проводилось в области развитой турбулентности ( $Re=12000-11000$ ), а также в переходных режимах ( $Re=8000$ ) с заданным тепловым потоком на обогреваемой стенке ( $Gr=1.7 \cdot 10^9 - 1.0 \cdot 10^{10}$ ) при вертикальном и горизонтальном положениях прямоугольного канала под воздействием магнитного поля ( $Ha=30$ ). Экспериментальное исследование в условиях неоднородного обогрева и компланарного магнитного поля показало отсутствие значитель-

ного влияния магнитного поля на коэффициенты теплоотдачи и пульсационные характеристики [5].

В рамках данной работы также был рассмотрен ряд численных и экспериментальных исследований особенностей теплообмена водного раствора в условиях естественной конвекции под действием массовых сил различной природы. Моделирование объемного тепловыделения в условиях лабораторного эксперимента было реализовано посредством пропускания электрического тока через раствор электролита. В результате данного подхода, удалось получить равномерное поле разности потенциалов, и как следствие, равномерное тепловыделение в малом объеме, что говорит о корректности выбранной методики имитации объемного тепловыделения. Эксперимент был верифицирован численным расчетом в среде COMSOL Multiphysics. Наблюдалось качественное и количественное совпадение полученных результатов.

На втором этапе экспериментального исследования планирует изучение смешанной конвекции имитатора расплава соли в условиях объемного тепловыделения с учетом апробированных ранее методик и средств измерения.

### Литература

1. International atomic energy agency, Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management, Nuclear Energy Series, 2022.
2. **Ignatiev V., Feynberg O.** Molten salt reactor for TRU transmutation without and with Th-U support. — Transactions of ANS, 2011, v. 104.
3. **Belyaev I.A et al.** Experimental study of molten salt mixed convection in a pipe affected by transverse magnetic field // MHD, 2019, 55(1/2), pp. 241–250.
4. **Belyaev I.A et al.** Heat transfer in the mixed convection of the molten salt in the presence of magnetic fields. TPHL, 2019, 45(5), pp. 499–502.
5. **Белавина Е.А. и др.** Исследование теплогидравлики имитатора расплава соли при течении в канале в условиях неоднородного обогрева // ВАНТ ЯРК, 2021, 4, с. 82–97.



*А.С. Волков, суд.; рук. асп. М.М. Виноградов (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОФИЗИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В НЕДОГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДАВЛЕНИЯХ**

В рамках научно-исследовательской работы изучается использования технологии машинного обучения для решения теплофизических задач закалки металлических изделий в недогретой жидкости при различных давлениях системы. Текущая работа предлагает инструмент определения температуры поверхности, при котором начинается дестабилизация паровой пленки.

В качестве способа машинного обучения используется метод нейронных сетей. Для построения нейронной сети используется язык программирования Python с модулем TensorFlow, так как в нем уже имеется все необходимые инструменты для удобного построения различных архитектур нейронных сетей.

В качестве архитектуры нейронной сети используется многослойный персептрон. В качестве входных параметров используются следующие параметры: недогрев жидкости; давление системы; свойства охлаждаемого металлического тела; теплофизические свойства охлаждающей жидкости. В качестве выходного параметра нейронной сети получаем температуру перегретой жидкости (относительно температуры насыщения), при которой начинается дестабилизация паровой пленки.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-79-20402)

### **Литература**

1. **Т. Рашид**, Создаем нейронную сеть, Москва: «Альфа-книга», 2017.
2. **А. Géron**, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow, 2017.

*Д.А. Бердюгин, студ.; Е.А. Белавина, асп.;  
рук. Н.Ю. Пятницкая, к.т.н., ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПЕЦИФИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ИМИТАТОРОВ РАСПЛАВА СОЛЕЙ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНЦЕПЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

В процессе создания реакторов, в которых планируется использование новых видов теплоносителей, возникла проблема, связанная с недостатком особенностей касающихся теплофизических процессов. На сегодняшний момент, одна из существующих концепций альтернативных решений в атомной промышленности — это применение расплавов солей как теплоносителя нового поколения [1–2]. Свойства данных веществ могут повысить эффективность использования ядерных и других установок, а также сделать их более безопасными в процессе эксплуатации. С наличием источников объёмного тепловыделения, которые встречаются в ядерных, химических и других видах энергетических установках, возникает градиент температуры, который порождает вторичные течения в ламинарных и турбулентных потоках. В связи с этим появилась потребность изучения смешанной конвекции с внутренними источниками тепла. Этой теме уже посвящено множество научных работ, но актуальность её сохраняется и по сей день.

Данная работа посвящена исследованию естественной конвекции с объёмным тепловыделением в элементарной ячейке. Для численного моделирования был использован коммерческий пакет COMSOL Multiphysics. Одна из особенностей работы заключается в задании граничных условий: охлаждаемая верхняя стенка, а все остальные теплоизолированы, что создаёт свободноконвективное движение внутри объёма [3–5]. В процессе расчета были изучены возможности разных моделей турбулентности, которые используются для моделирования гидродинамики, и по итогу выбрана наиболее подходящая к задаче. Также рассмотрены зависимости от определяющих параметров, которые показывают, насколько интенсивно происходит процесс теплообмена и какие явления, эффекты возникают внутри исследуемой ячейки. Численные результаты данной работы в дальнейшем будут использованы для верификации экспериментальных исследований.

### **Литература**

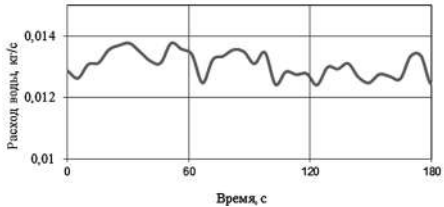
1. **В.Л. Блинкин, В.М. Новиков.** Жидкосольевые ядерные реакторы. — М.: Атомиздат, 1978, 1112 с.
2. **М.В. Ковальчук, Б.Б. Чайванов, С.С. Абалин, С.В. Игнатъев, С.А. Конаков, А.И. Суренко, О.С. Фейнберг, А.В. Козлов, В.А. Федоров.** К вопросу выбора ядерного энергоисточника для Арктики // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. Вып. 3, С. 4–12.
3. **K.L. Yerkes, A. Faghri.** Mixed convection analysis in large baffled rectangular chambers with internal heat sources // International journal of heat and mass transfer. 1992. Т. 35. №. 5. С. 1209–1228.
4. **В.М. Shankar, Jai Kumar, I.S. Shivakumara.** Stability of mixed convection in a differentially heated vertical fluid layer with internal heat sources // The Japan Society of Fluid Mechanics. IOP Publishing, 2019. Т. 51. №. 5, С. 01.
5. **Y. Tasaka et al.** Experimental investigation of natural convection induced by internal heat generation // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2005. — Т. 14. — №. 1. — С. 021.

*А.Д. Букреева, асп.; рук. В.А. Грабежная, к.т.н., в.н.с.  
(АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» в г. Обнинске)*

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВИТОГО ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО КАНАЛА И ПРЯМОЙ ТРУБЫ**

В АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» были проведены экспериментальные исследования о гидродинамической устойчивости парогенерирующих каналов в виде витой и прямой трубы без дроссельного устройства на входе в питательную воду.

При проведении испытаний модели витого ПГ во всем диапазоне изменения режимных параметров неустойчивых режимов работы парогенерирующих труб зафиксировано не было [1]. На рис. 1 представлена запись во времени расхода питательной воды. Колебания расхода питательной воды, которые показанные на рисунке, обусловлены условиями работы модуля и свинцового стенда в целом.



**Рис. 1.** Запись во времени расхода воды [1]

При испытании однотрубной модели ПГ в ряде опытов были обнаружены режимы с циклическими пульсациями расхода питательной воды, что говорит о наличии гидродинамической неустойчивости (ГДН) [2].

Проведенные нами расчеты показали, что отсутствие ГДН в экспериментах с витым каналом обусловлено большим гидравлическим сопротивлением в экономайзерной зоне по сравнению с прямой трубой.

### **Литература**

1. **Грабежная В.А., Михеев А.С.** Экспериментальное исследование теплогидравлики витого парогенерирующего канала, обогреваемого свинцовым теплоносителем при продольном и поперечном течении. ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы, 2019, вып. 1, с. 133–143.
2. **Грабежная В.А., Михеев А.С.** К вопросу теплогидравлической устойчивости в парогенерирующих каналах, обогреваемых жидким металлом. ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы, 2022, вып. 1, с. 230–244.

*Б.И. Никулин, студ.; М.Н. Свириденко; И.В. Данилов;  
рук. И.И. Поддубный, к.т.н. (АО «НИКИЭТ»),  
А.Б. Путрик, к.ф.-м.н. (Частное учреждение «ИТЭР-Центр»)*

## **ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В СБОРКЕ ОПОРЫ ВНУТРЕННЕГО БЛАНКЕТА ИТЭР ПРИ РАЗРУШЕНИИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ**

Защитный бланкет реактора ИТЭР состоит из 440 модулей бланкета (МБ), каждый из которых механически закреплен на вакуумной камере (ВК) с помощью четырех сборок гибких опор (ГО), главным элементом которых является гибкий картридж. Для обеспечения электрической изоляции сборки ГО от ВК используется покрытие на основе оксида алюминия.

Оценка температурного поля ГО в аварийном режиме работы производится в пять этапов в среде ANSYS Mechanical APDL.

На первом этапе производится вычисление температурных полей в режиме Inductive I (последовательность режимов горения плазмы и паузы). Начальное условие — температура опоры 100°C. На интерфейсе на границе с ВК задается температура 100°C, на границе с МБ — 130°C. Учитывается контактная термическая проводимость на поверхностях деталей сборки ГО.

На втором этапе производится анализ прочности ГО для оценки возможного раскрытия стыка на интерфейсе «коническая втулка-картридж» при следующих шагах нагружения: затяг болта 600 кН при 20°C; равномерный разогрев ГО до 100°C, приложение температурных полей, соответствующих режимам паузы и горения; поперечное смещение МБ 1,6 мм и его разворот на 0,085°; осевая сила 600 кН. Последние 3 шага обусловлены действиями электромагнитных сил при срывах плазмы при токе величиной 137 кА.

На третьем этапе после подтверждения наличия раскрытия стыка, который может привести к разрушению изоляции на интерфейсе «коническая втулка-картридж», создается контактная пара в месте раскрытия и проводится расчет поля джоулевого тепловыделения при протекании тока величиной 137 кА.

На четвертом этапе производится расчет температурного поля ГО при разрушении изоляции. Начальное условие — поле температур в режиме горения. Вычисленное джоулево тепловыделение прикладывается в течение 300 мс, затем происходит остывание ГО за счет теплопроводности.

Вследствие высоких температур на пятом этапе производится расчет температурного поля ГО с учетом лучистого теплообмена между ВК и ГО и оценка влияния излучения на скорость остывания опоры.

В работе представлены результаты расчетов, а также даны рекомендации о необходимости увеличения предварительного затяга болта.

Н.Е. Кикоть, А.В. Бикмулин, студ.;  
 рук. С.З. Сапожников, д.т.н., проф. (СПбПУ, Санкт-Петербург)

## ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТОЙ ВОДЫ НА ЦИЛИНДРЕ

В работе рассмотрено кипение в большом объеме жидкости на поверхности цилиндра.

Цель работы — определить максимальный тепловой поток при пузырьковом кипении на поверхностях различной формы. Измерение местной плотности теплового потока проводились методом градиентной теплотметрии [1].

Экспериментальная модель — цилиндр, с диаметром основания 34 мм и высотой 22,3 мм. Градиентный датчик теплового потока монтировался на верхней поверхности цилиндра заподлицо. Температурный режим, выбранный для данного эксперимента, соответствовал рассмотренному в ранних работах с шаром [2] (температура модели  $T_w = 464$  °С; температура воды  $T_f = 73$  °С).

На рис. 1 представлена зависимость местной плотности теплового потока от времени при кипении на двух различных поверхностях. При данном температурном режиме наблюдается устойчивое пленочное кипение, что сказывается на времени остывания модели. Геометрическая форма не влияет на местную плотность теплового потока, при данном режиме недогрева жидкости, пленочный и переходный процессы стабильны, совпадают по времени для двух форм модели и не наблюдаются случайных срывов пленки.

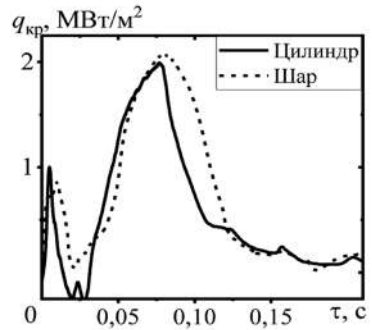


Рис. 1. Местная плотность теплового потока от времени

### Литература

- С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков [и др.]. Изучение пленочной конденсации насыщенного водяного пара на поверхностях труб методом градиентной теплотметрии. Теплоэнергетика. — 2021. — № 10. — С. 73–81. — DOI 10.1134/S0040363621090071
- S.Z. Sapozhnikov, V.Y. Mityakov, A.V. Mityakov [et al.]. Comprehensive study of boiling regimes with use of high-speed imaging and gradient heatmetry. Journal of Physics: Conference Series: 16, Moscow, 28 июня — 02 2021 года. — Moscow, 2021. — P. 012058. — DOI 10.1088/1742-6596/2127/1/012058.

А.В. Бикмулин, Н.Е. Кикоть, студенты;  
рук. В.Ю. Митяков, д.т.н., проф. (СПбПУ, Санкт-Петербург)

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

В Научно-образовательном центре «Теплофизика в энергетике» выполнено экспериментальное исследование процесса сжигания дизельного топлива и его интенсификация путем добавления турбулизатора.

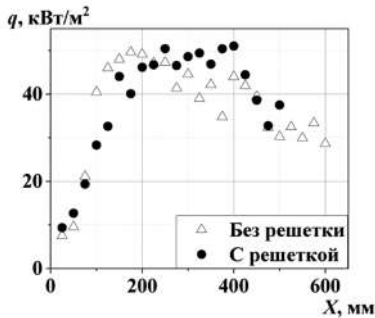


Рис. 1. Распределение местной плотности теплового потока по длине факела

с температурой проточной воды 20°C. В качестве турбулизатора использовалась решетка из нержавеющей стали с шагом прутьев 20 мм.

На рис. 1 представлено распределение местной плотности теплового потока по длине факела с решеткой-турбулизатором и без.

Поскольку данный режим горения является диффузионным, применение решетки-турбулизатора позволило повысить максимальное значение и выровнять профиль местной плотности теплового потока.

### Литература

- С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков [и др.]. Исследование кипения на поверхности шара методом градиентной теплометрии. Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 10. С. 434–441. — DOI 10.34759/tpt-2021-13-10-434-441.
- А.В. Бикмулин, П.Г. Бобылев, Н.Е. Кикоть [и др.]. Измерение локальной плотности теплового потока методом градиентной теплометрии в топке котла ДКВр-10. Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК, Санкт-Петербург. — Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2021. С. 115–118.

*М.И. Дрей, студ.;*  
*рук. А.В. Костановский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ В ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН**

При создании и анализе устройств промышленных и энергетических установок, работающих с высокими температурами, например, в атомной промышленности, важной задачей является изучение теплообмена. С ростом температуры значительно возрастает доля энергии теплового излучения в общем тепловом балансе. Лучистый теплообмен зависит от радиационных свойств тел, участвующих в процессе теплообмена. Известно, что на оптические свойства поверхности тел кроме температуры, влияет множество факторов — от степени обработки поверхности до окисления. В этих условиях аналитическое исследование радиационных свойств крайне сложно. Поэтому экспериментальное исследование радиационных свойств является актуальным и важным.

В настоящее время актуальные данные о радиационных характеристиках интегральных (например, гафний и цирконий) тугоплавких материалов найти проблематично, если вообще возможно. А в доступных результатах часто температурный или диапазон длин волн достаточно мал.

Конечно, имеются систематизированные справочные данные [1], но так как большинство измерений проводилось достаточно давно — данных по новым материалам недостаточно. Для этого необходимо создание установки для определения оптических свойств поверхностей тугоплавких материалов в широком температурном и спектральном диапазоне.

Предлагаемая экспериментальная установка состоит из интегрирующей сферы, внутри которой располагается исследуемый образец, в качестве греющего излучения используется лазер, источником зондирующего излучения выступает модель абсолютно черного тела, регистрация излучения в ИК-диапазоне длин волн осуществляется болометром, измерение температуры производится пирометром. Проверка надежности получаемых результатов проводилась при использовании образцов материалов с известными оптическими характеристиками. Полученные данные свидетельствуют о правильности работы установки и, следовательно, возможности в дальнейшем проведения экспериментов по определению отражательной способности тугоплавких материалов.

### **Литература**

1. **Латыев Л.Н.** и др. Излучательные свойства твердых материалов. Справочник / Под ред. А.Е. Шейндлина. М // Энергия. — 1974.

*Т.А. Гатауллин, студ.;*  
*рук. Д.О. Дуников, к.ф.-м.н, доцент (НИУ "МЭИ")*

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Активный рост потребления энергии оказывает огромную нагрузку на окружающую среду, поэтому в настоящий момент перед научным сообществом стоит важная задача поисков нового экологически чистого топлива. Хранение энергии является одним из ключевых факторов для устойчивого развития нового энергетического уклада, основанной на ресурсосберегающих возобновляемых энергетических технологиях. На данный момент, хорошей альтернативой ископаемым топливам может стать водородная энергетика. При этом запастись энергией можно как в гидридах металлов, так и в никель-металлогидридных (Ni-MH) аккумуляторах.

Хранение энергии является одним из ключевых факторов для устойчивого развития нового энергетического уклада, основанной на ресурсосберегающих возобновляемых энергетических технологиях. Электрохимические аккумуляторы могут быть использованы не только как источники питания для мобильных и портативных устройств, но и для гибридных и электрических автомобилей, выравнивания нагрузки в электросетях на основе ВИЭ [1].

Ni-MH аккумуляторы обладают рядом преимуществ для практического применения, такими как высокая удельная плотность хранимой энергии, устойчивость к перезаряду/перезаряду, быстрой кинетикой заряд-разряда, экологичностью и безопасностью. Основным компонентом Ni-MH аккумуляторов, влияющим на их характеристики, является водородпоглощающий материал, используемый в качестве анода. Интерметаллические соединения (ИМС) способны обратимо поглощать и выделять водород при нормальных условиях. Одним из самых популярных являются ИМС АВ<sub>5</sub>-типа на основе LaNi<sub>5</sub>. Путем варьирования состава ИМС можно изменять рабочие характеристики, как разрядная емкость, скорость активации, циклическая стабильность и другие свойства [2]. Таким образом, поиск эффективных и ресурсосберегающих анодных материалов для использования в электрохимических системах хранения является актуальным в контексте развития экологически чистых возобновляемых источников энергии.

Целью данной работы является исследование электрохимических свойств анодного материала АВ<sub>5</sub>-типа, таких как скорость активации, максимальная разрядная емкость, производительность электродов при высоких плотностях тока, циклическая стабильность, а также коэффициент диффузии.

### **Литература**

1. **Larcher, D. and J.M. Tarascon**, Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemistry*, 2015. 7(1): p. 19–29.
2. **Ouyang, L., et al.**, Progress of hydrogen storage alloys for Ni-MH rechargeable power batteries in electric vehicles: A review. *Materials Chemistry and Physics*, 2017. 200(Supplement C): p. 164–178.



*А.Е. Ковалев, студ.; рук. О.Д. Захарова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ СГОРАНИЯ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ К ПОЛИМЕРАМ**

Одним из распространенных методов утилизации пластиковых отходов, заполняющих множество мусорных полигонов в России и за рубежом, является сжигание. Само сжигание пластиков представляет собой горение полимерных материалов — веществ со сложной повторяющейся молекулярной структурой. Такую структуру имеет известный органический материал, применяемый в энергетике в качестве топлива, — уголь.

Описание процессов горения угля сводится к описанию самого длительного по времени акта (около 90%) — горение коксового остатка [1]. Модели, описывающие данный процесс, хорошо разработаны и апробированы на практике [1].

Однако, в случае неорганических полимеров, одними из которых являются бытовые пластики, количество коксового остатка, образующегося в процессе термического разложения, может быть незначительным [2], поэтому влияние процессов горения летучих веществ, чья доля может достигать 80–90% от общей массы, становится определяющим фактором. Таким образом, возникает вопрос о возможности адаптации моделей горения углей к описанию сжигания бытовых пластиков — неорганических полимеров. Наиболее распространенной методикой сжигание угля является горение угольной пыли, частицы которой приближенно можно считать сферическими, поэтому в работе рассматриваются подходы, описывающие горение сферических частиц малого диаметра.

Ряд авторов, например, [2–3], предлагает делить полимеры по типу горения на две группы: первые горят как капли жидкого топлива, вторые — как частицы твердого. Такая особенность связана с внутренним строением пластиков, несколько отличающихся от углей, и особенностями протекания процессов нагрева и воспламенения [4]. Правила и критерии разделения в [2–3] не указаны.

Целью работы является уточнение и развитие моделей горения сферических полимерных частиц с учетом новых знаний о свойствах полимерных материалов и особенностей их термического разложения, полученных в последние годы.

### **Литература**

1. **В.В. Померанцев.** Основы практической теории горения. Л.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **А.А. Берлин.** Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести.
3. **Р. М. Асеева.** Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981.
4. **Morgan J. Hurley.** SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., 2016.

*Е.С. Готовцева, М.И. Чернышова, студенты;  
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ДОРОЖКИ КАРМАНА ЗА ТЕЛОМ, ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫМ В ЖИДКОСТЬ

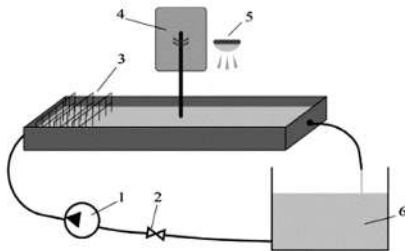
В работе изучен характер обтекания тела, лишь частично погруженного в жидкость, при различных режимах течения — ламинарном и турбулентном, а также исследовано изменение картин обтекания при переходе от рассмотрения фактически трехмерной задачи обтекания шара к рассмотрению двумерной задачи обтекания цилиндра. Картина течения в таком случае радикально меняется, так как за цилиндром образуется вихревая дорожка кармана, а за сферой — нет.

Суть исследования состоит в том, что цилиндр диаметром 5 мм с закругленным торцом, представляющим из себя полусферу, постепенно погружается в канал с жидкостью, текущей с заданной скоростью в диапазоне 1–10 см/с, рис. 1. Изменяя скорость течения в канале, можно получить различные числа Рейнольдса, соответствующие разным режимам течения:

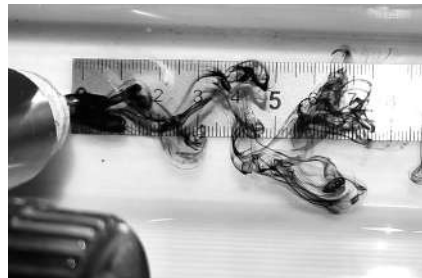
$$Re_{ц} = \rho w d / \mu, \quad (1)$$

где  $w = \dot{V}/F$ ;  $\dot{V}$  — объемный расход жидкости. Эксперименты проводились в диапазоне чисел Рейнольдса — от 50 до 350.

Получая значения непосредственно для опытного канала числа Рейнольдса, соответствующие режиму течения, близкому к турбулентному, применяем методы ламинаризации потока в установке. Ламинаризация потока жидкости в установке позволяет получить более четкие картины обтекания тела, частично погруженного в жидкость, рис. 2.



**Рис. 1.** Экспериментальная установка: 1 — насос, 2 — кран, 3 — успокаивающее устройство, 4 — погружаемый цилиндр, 5 — устройство освещения картины обтекания, 6 — емкость с жидкостью



**Рис. 2.** Обтекание цилиндра, погруженного на глубину 3,6 диаметра, при числе Рейнольдса  $Re=225$

*А.А. Верголасов, студ.;*  
*рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Задачи диагностики реального состояния оборудования и предотвращения аварийных ситуаций на энергетических установках и в теплофизических экспериментах могут успешно решить нейросетевые технологии [1]. Последние уже хорошо зарекомендовали себя в различных сферах деятельности человека. В работе рассмотрены простейшие нейронные сети и их возможности для моделирования сложных динамических систем, которыми являются энергетические установки. На первой стадии работ реализовано моделирование нейросетью простейшей динамической системы — физического маятника при наличии трения и вынуждающей силы. Модель реализована в средах Python и Matlab.

Следующей стадией работы является создание нейросетевой модели малой энергетической ОЦР-установки. Сама реальная установка создана на кафедре ИТФ НИУ «МЭИ». Там же разработана и математическая модель данной ОЦР-установки, описывающая как стационарные, так и нестационарные режимы ее функционирования. На основе проведенных на реальной установке экспериментов и результатов, полученных на математической модели ОЦР установки, разработан набор обучающих векторов, которые используются для обучения нейронной сети.

Так как при определенных значениях входных параметров моделируемой энергетической установки последняя демонстрирует хаотическое поведение, особый интерес вызывает исследование при этих же значениях поведения нейросети, моделирующей ОЦР-установку. В данной связи в работе рассмотрены общие свойства, которые присущи искусственным нейронным сетям, а также сходство между уравнениями, описывающими физические динамические системы и модельными уравнениями, рассматриваемыми в теории мышления [1] и теории информации [2].

### **Литература**

1. **М.И. Рабинович, П. Варона** «Нелинейная динамика творческого мышления. Многомодальные процессы и взаимодействие гетероклинических структур» // Успехи физических наук, том 191, № 8, август 2021.
2. **Giulio Tononi, Melanie Boly, Marcello Massimini and Christof Koch** «Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate» // Nature Reviews Neuroscience 17(7), 05.2016.

*К.М. Лапшова, студ.;*  
*рук. Н.В. Кукшинов, к.т.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КИПЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ**

В работе рассматривается процесс пузырькового кипения диэлектрической жидкости на тепловыделяющей пластине. Исследуется зависимость характеристик пузырьков от плотности теплового потока на пластине и шероховатости стенки. Приводится сравнение с экспериментальными данными.

На рисунке показано поле паровой фазы диэлектрической жидкости при малой плотности теплового потока ( $80000 \text{ Вт/м}^2$ ). Результаты численного моделирования удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными. Также получены результаты моделирования кипения чипа на медной пластине.



**Рис. 1.** Результаты расчёта модели куба, заполненного водой с тепловыделяющей пластиной на дне

### **Литература**

1. **Боришанский В.М., Козырев А.П., Светлова Л.С.** Изучение теплообмена при пузырьковом кипении жидкостей, 1964.
2. **Волошко А.А.** О скорости роста паровых пузырей на поверхности нагрева. — ИФЖ, 1974, Т. 26.
3. **Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г.** Гидродинамика и теплообмен при парообразовании: Учеб. Пособие для втузов. — 3-е изд., испр. — М.: Высш. шк, 1986.

Н.Е. Балабаев, студ.; рук. И.А. Беляев, к.т.н. (ОИВТ РАН, Москва)

## ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА

Экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена выполняются исследовательской группой МЭИ-ОИВТ [1]. В качестве модельного теплоносителя использовались вода и свинец. Проведение детальных измерений, непосредственно изнутри потока, стало возможным благодаря технологии микро-термопарных погружных зондов. Пары сигналов с термопар позволяют оценить локальную скорость турбулентного потока. Новые данные были получены и обработаны путем построения полей температуры и интенсивности температурных пульсаций. Измерения с водой проводились при опускном течении в круглой трубе под воздействием однородного и неоднородного обогрева (Рис. 1). Со свинцом — под действием термогравитационной конвекции при неоднородном обогреве в вертикальной трубе (Рис. 2). В исследованном диапазоне режимных параметров было обнаружено, что при увеличении плотности теплового потока происходит изменение частоты температурных пульсаций, что приводит к увеличению мелкомасштабных структур. Применение корреляционного анализа позволяет с высокой точностью определить значение локальной скорости потока по полученным значениям температурных пульсаций в оптически прозрачных и непрозрачных средах.

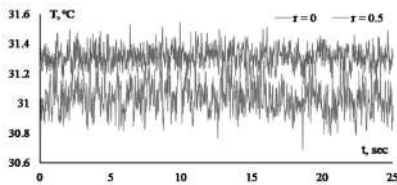


Рис. 1. Температурные сигналы с водного теплоносителя при параметрах  $Re = 1 \cdot 10^4$ ,  $Gr = 1.1 \cdot 10^7$

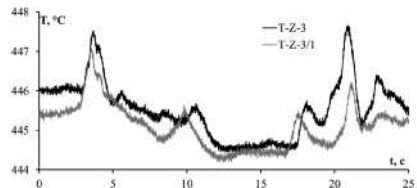


Рис. 2. Температурные сигналы со свинцового теплоносителя при плотности теплового потока в  $40 \text{ кВт/м}^2$

### Литература

1. Сардов П.А., Сорокин А.Н., Беляев И.А. Пространственно-временные характеристики температурных пульсаций турбулентного потока и измерения скорости на их основе. Т. 5 № 2. Вестник ОИВТ РАН, 2020, с. 21.

*И.С. Белоусов, Е.Р. Комлык, К.П. Коршунов, студ.;  
рук-ли. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),  
Н.С. Иванов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕРМОСИФОНА ОТ ЕГО УГЛА НАКЛОНА**

Термосифоны применяют для отвода тепла при охлаждении грунта в регионах вечной мерзлоты. Термическое сопротивление термосифона зависит от его наклона и применения нано- и микропористых покрытий [1]. Имеющиеся данные по термическому сопротивлению термосифона при различных углах наклона и покрытии из наночастиц крайне ограничены.

Целью работы является уточнение данных по термическому сопротивлению термосифона при изменении угла наклона.

Экспериментальный стенд включал в себя модель термосифона, холодильную установку и поворотный механизм для изменения угла наклона. В испарителе термосифона нанесено покрытие из нано- и микрочастиц [1].

Температурный напор между испарителем и конденсатором определяли с помощью дифференциальной термопары, а тепловые потоки измеряли с помощью датчиков теплового потока и тепловизора.

В работе исследуется воспроизводимость данных по термическому сопротивлению при различных углах наклона.

Результаты согласуются с данными из работы [2], что подтверждает стабильность покрытия, нанесенного в испаритель термосифона. Установлено, что с увеличением угла наклона, термическое сопротивление увеличивается.

### **Литература**

1. **Kuzma-Kichta, Y.A., Ivanov, N.S. & Lavrikov, A.V.** Transport Properties of Coatings Consisting of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles. *J Eng Phys Thermophy* 94, 30–35 (2021).
2. **Н.С. Иванов, Ю.А. Кузма-Кичта, А.В. Лавриков [и др.]** Снижение термического сопротивления термостабилизатора с помощью нанесения в испарителе покрытия из микро- и наночастиц // *Тепловые процессы в технике*. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 50–55.

А.А. Сергиенко, студ.; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЕТ КОНВЕКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПРОДОЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ, С ПОМОЩЬЮ CFD– КОДА ANES

Большое количество компонентов для электрических устройств изготавливаются с применением технологий выращивания кристаллов путем охлаждения расплавленного материала. Процесс расплавления и затвердевания материалов происходит при различных условиях тепло- и массообмена, которые в свою очередь оказывают сильное влияние на микростав получаемых кристаллов.

Одним из популярных методов, используемых в технологиях выращивания кристаллов, является метод Бриджмена-Стокбаргера или метод направленной кристаллизации, заключающийся в том, что через печь, имеющую неравномерное распределение температуры по длине, протягивается ампула с материалом.

Описанный выше случай плавного снижения температуры в горизонтальном канале прямоугольного сечения в условиях постоянного градиента температурного поля в недавнем прошлом анализировался аналитически [1]. В ходе данной работы были проведены CFD-расчеты для 3D-модели канала по поиску критического числа Грасгофа, при котором возмущения в канале не затухают со временем.

В результате CFD-расчетов были получены данные, показывающие, что определенное в настоящей работе критическое значение числа Грасгофа отличается от полученных аналитически и представленных в работе [1]. Этот результат является вполне естественным, т.к. аналитическими методами исследуется устойчивость к бесконечно малым возмущениям. Зафиксированные нами колебания скорости и температуры не являются бесконечно малыми.

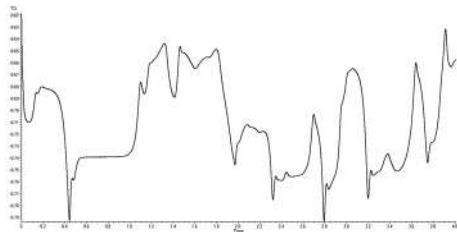


Рис. 1. Колебания температуры, полученные для сенсора

### Литература

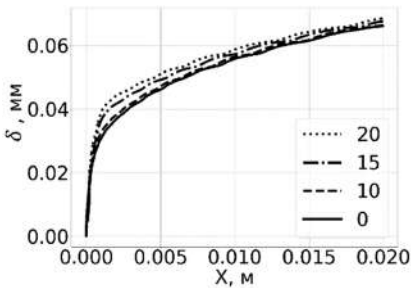
1. T.P. Lyubimova, D.V. Lyubimov, V.A. Morozov, R.V. Scuridin, Hamda Ben Hadid, et al. Stability of convection in a horizontal channel subjected to a longitudinal temperature gradient. Part 1. Effect of aspect ratio and Prandtl number. Journal of Fluid Mechanics, Cambridge University Press (CUP), 2009.

А.А. Клементьев, аспирант;  
рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ЗАДАНИЯ ГРАНИЧНЫХ И НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛЕНОЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ МЕТОДОМ VOLUME OF FLUID

В литературе существует недостаток информации об особенностях задания граничных условий при моделировании пленочной конденсации методом VOF. В работе [1] отмечается, что их выбор может приводить к выходу на различные стационарные режимы конденсации.

В данной работе представлены результаты численного анализа конденсации пара на вертикальной пластине в двумерной постановке при различных значениях угла смачивания. Процесс конденсации моделировался с использованием метода VOF, реализованного в исследовательском CFD-коде ANES [2]. Для учета фазового перехода использовалась модификация модели Lee [3].



**Рис. 1.** Изменение толщины пленки по длине течения при фиксированном времени для различных углов смачивания на поверхности

Изменение значения угла смачивания на пластине и начального распределения толщины жидкой пленки приводило к выходу на различные режимы конденсации. Типичное распределение толщины пленки при пленочной конденсации представлено на рисунке 1.

По результатам расчетов даны рекомендации по выбору граничных и начальных условий для численного моделирования конденсации пара на поверхности гладких тел методом VOF. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 22-29-01457).

### Литература

1. Kleiner T., Rehfeldt S., Klein H. CFD model and simulation of pure substance condensation on horizontal tubes using the volume of fluid method // Int. J. Heat Mass Transf. 2019. Т. 138. С. 420–431.
2. Код ANES [электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения 20.10.2022).
3. Минко К.Б., Артемов В.И., Клементьев А.А. Моделирование методом VOF процессов конденсации неподвижного и движущегося насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы // Теплоэнергетика. 2023 г. № 3. (принята к печати).



С.Н. Андреев, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ VOF ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИИ НЕПОДВИЖНОГО И ДВИЖУЩЕГОСЯ ПАРА НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЕ В СОПРЯЖЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ С ОХЛАЖДАЕМОЙ СТЕНКОЙ

Получение новых данных о происходящих при конденсации процессах с помощью современных методов компьютерного моделирования необходимо для совершенствования существующих методик проектирования современных конденсаторов.

В настоящей работе исследуется теплообмен при конденсации пара пентана на гладком охлаждаемом горизонтальном цилиндре в сопряженной постановке. Рассмотрены случаи конденсации при практически неподвижном паре, а также при различных скоростях движения пара с обдувом цилиндра нисходящим и горизонтальным потоком пара. Основой математической модели двухфазного потока является метод VOF (Volume Of Fluid) [1].

Обсуждаются особенности поведения жидкой пленки конденсата и ее взаимодействия с внешним нестационарным потоком пара (рис. 1). Полученные данные по теплоотдаче сравниваются с известными эмпирическими зависимостями. Моделирование проводилось с использованием открытого CFD-кода ANES [2]. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 22-29-01457).

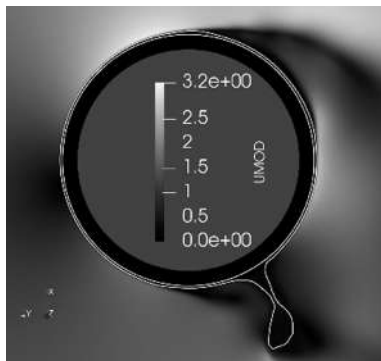


Рис. 1. Момент отрыва капли конденсата при боковом обдуве, со скоростью 1.5 м/с

### Литература

1. Минко К.Б., Артемов В.И., Клементьев А.А. Моделирование методом VOF процессов конденсации неподвижного и движущегося насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы // Теплоэнергетика. 2023 г. № 3. (принята к печати).
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 26.10.2021).

К.В. Сурков, студент; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## СМЕШАННАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Результаты экспериментальных и численных работ по изучению смешанной турбулентной конвекции в вертикальных трубах показали, что характер течения и теплообмена достаточно сложен, поэтому исследования указанных процессов остаются актуальными. Особенности поведения коэффициента теплоотдачи связаны с влиянием сил плавучести на профиль скорости, который изменяет свою форму в зависимости от плотности теплового потока на стенке трубы и направления течения (подъемное, опускное).

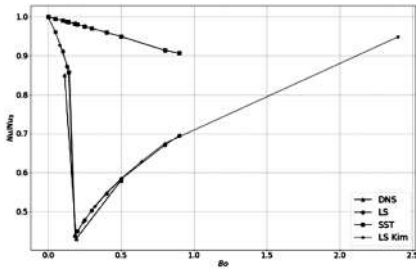


Рис. 1. Зависимость числа Нуссельта от критерия  $Bo$

Целью данной работы является моделирование процессов смешанной турбулентной конвекции воздуха и верификация некоторых популярных RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) моделей для турбулентной вязкости, реализованных в CFD коде ANES [1]. В качестве верификационной базы выбраны данные прямого численного моделирования турбулентности You et al [2], а также результаты расчетов, полученные в диссертации Е.П. Валуевой [3], и работе Kim et al. [4].

В работе представлены результаты выполненных расчетов и их сравнение с данными указанных работ. В качестве примера на рис. 1 представлены зависимости числа Нуссельта от критерия  $Bo$ , характеризующего интенсивность сил плавучести, полученные с использованием  $k$ - $\epsilon$  модели Лаундера-Шарма и  $k$ - $\omega$  SST модели Ментера. Наилучшие результаты были получены с использованием модели Лаундера-Шарма.

### Литература

1. Код Anes [электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/>
2. You et al. Direct numerical simulation of heated vertical air flows in fully developed turbulent mixed convection, Seoul: Seoul National University, 2003.
3. Валуева Е.П. Численное моделирование смешанной турбулентной конвекции в вертикальной трубе жидкости с переменными физическими свойствами. М.: Московский ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции Энергетический Институт, 1985.
4. Kim et al. Assessment by comparison with DNS data of turbulence models used in simulations of mixed convection. Int. Journal of Heat and Mass Transfer. 2008.

*Р.Р. Сахапов, студент; рук-ли Г.Г. Яньков, д.т.н., проф.;*  
*В.И. Артемов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ "МЭИ")*

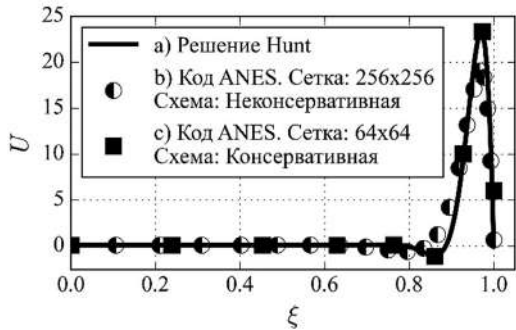
## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МГД-ТЕЧЕНИЯ РТУТИ В КАНАЛЕ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Изучение МГД-течений жидкометаллических теплоносителей является перспективным направлением для термоядерных технологий.

Целью работы является верификация МГД-моделей и алгоритмов CFD кода ANES [1] для расчета течений электропроводящего теплоносителя. В работе рассматривается канал квадратного сечения с вертикальными непроводящими и горизонтальными идеально проводящими электрический ток стенками. Течение ртути при воздействии поперечного магнитного поля предполагается стабилизированным.

Решение для профиля скорости в указанной постановке получено Hunt [2]. Результаты численного моделирования представлены для двух алгоритмов расчета плотности тока при вычислении силы Лоренца, получивших название — «консервативная» и «неконсервативная» схемы.

На рисунке видно, что консервативная схема позволяет получить точные решения на крупной сетке, чего нельзя сказать о неконсервативной схеме.



**Рис. 1.** Зависимость безразмерной скорости от поперечной безразмерной координаты  $\xi$  в канале ( $\xi = 0$  — вертикальная симметрия) при числе Гартмана 1000: а) решение Hunt; расчет ANES на б) неконсервативной и а) консервативной схемах

### Литература

1. **Код ANES** [электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения 24.11.2022).
2. **Hunt J.C.R.** Magnetohydrodynamic flow in rectangular ducts // Journal of fluid mechanics. — 1965. — Т. 21. — №. 4. — С. 577–590.

Н.А. Ануров, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО КИПЕНИЯ НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА МЕТОДОМ VOF

Современные компьютерные методы моделирования процессов теплообмена при пленочном кипении позволяют получить данные о распределении толщины паровой пленки, форме межфазной поверхности, особенностях полей скорости. Полученные данные могут служить основой для уточнения существующих моделей и представлений о пленочном кипении. В настоящей работе исследуется процесс теплообмена при пленочном кипении на гладком горизонтальном цилиндре, поверхность которого имеет постоянную температуру. Основой математической модели двухфазного потока является метод VOF (Volume Of Fluid).

Получены данные о мгновенных характеристиках процесса (рис. 1). Периодический срыв пузырьков пара в окрестности верхней образующей цилиндра приводит к пульсациям коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  (рис. 2), значения которого на 20–30% превышают оценки для ламинарной гладкой паровой пленки  $\alpha_{\text{bromli}}$  (решение Бромли [1]). Моделирование проводилось с использованием открытого CFD-кода ANES [2].

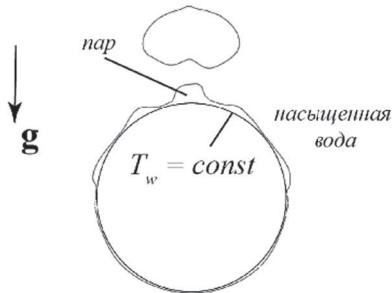


Рис. 1. Мгновенное распределение паровой пленки при пленочном кипении воды

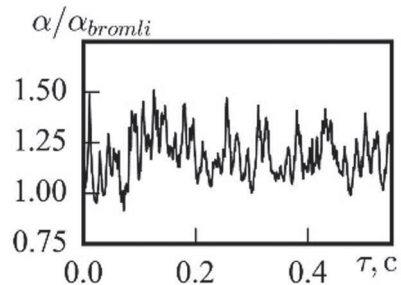


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи во времени

### Литература

1. **Bromley L.A.** Heat transfer in stable film boiling. — US Atomic Energy Commission, Technical Information Division, 1949. — V. 2295.
2. **Код ANES** [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 26.10.2021).

**Секция 42**  
**ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**  
**Technologies and physics of low temperatures**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Крюков Алексей Павлович*

*Секретарь секции: к.т.н. Сидоров Александр Андреевич*

*Л.О. Асланян, студент;  
рук. А.А. Сидоров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СХЕМ ОЖИЖИТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

В связи с развитием применения природного газа во многих областях, возникает проблема получения сжиженного природного газа. Крупнотоннажные производства являются слишком сложным и имеют серьезные ограничения по размещению. В качестве альтернативного варианта производства СПГ в данной работе предлагается проект легкомонтируемого малотоннажного ожижителя контейнерного типа. В работе рассмотрено несколько наиболее часто встречающихся схем ожижителей, в числе которых каскадный цикл, цикл с промежуточным охлаждением в турбодетандере, а также схема с применением парожидкостного ТДА. Произведен термодинамический анализ с применением расчетного пакета для 1D — моделирования. Произведено сравнение результатов расчета построенной схемы и реально существующей. Получено хорошее количественное согласование данных.

Постановка задачи выглядит следующим образом: рассматривается течение природного газа через совокупность узлов, составляющих малотоннажную установку по сжижению газа. Для проектирования такой установки необходимо знать состояние газа на входе: давление [бар], температуру [°C], расход [м<sup>3</sup>/ч]. Газ необходимо будет охладить до -162°C, предусмотреть влияние низкой температуры на теплообменник, а также переместить в резервуары для хранения и транспортировки. В ходе решения поставленной задачи рассмотрены существующие установки, выбрана наиболее подходящая компоновка узлов, построена принципиальная схема, подобраны компоненты установки отечественных производителей. Получены распределения давлений, температур, компонентов в объеме проточной части рассматриваемых узлов установки.

### **Литература**

1. **Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Козлов А.М., Мещерин И.В.** Российские малотоннажные производства по сжижения природного газа.
2. **А.М. Архаров, И.А. Архаров, А.А. Александров, Ю.А. Шевич, В.Ю. Семенов, С.Д. Красносова, А.Н. Колобова, Н.А. Лавров,** К анализу существующих установок ожижения природного газа малой производительности. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. 2010.

*Е.Д. Лаптева, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **КРИОГЕННЫЕ КОРПУСКУЛЯРНЫЕ МИШЕНИ В ИНЕРЦИАЛЬНОМ ТЕРМОЯДЕРНОМ СИНТЕЗЕ**

Существующие традиционные источники энергии имеют ряд недостатков: загрязнение окружающей среды, невозобновляемость и сложность извлечения ресурсов. В силу этого основные надежды возлагаются на развитие в ближайшие десятилетия термоядерного метода получения энергии, развивающегося в двух основных направлениях: магнитный термоядерный синтез (МТС) и инерциальный термоядерный синтез (ИТС).

В отличие от МТС в ИТС плазма ничем не удерживается, кроме собственной инерции. Наиболее перспективным термоядерным методом ИТС является Z-пинч.

В настоящее время, в связи со значительным прогрессом в создании мощных наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона, появилась возможность создания электростанций на основе соединения Z-пинча с криогенными монодисперсными мишенями.

На основании анализа имеющейся литературы [1] разработан проект термоядерной электростанции на основе Z-пинча с использованием монодисперсных мишеней.

Главными проблемами, тормозящими создание электростанций на основе соединения Z-пинча с криогенными монодисперсными мишенями, являются: недостаток экспериментальных данных по капиллярному распаду жидких струй в среде с пониженным давлением и отсутствие расчётных данных по охлаждению таких струй.

С использованием расчётного пакета Феникс, проведены расчёты по охлаждению тонких струй при их инжекции в среду с пониженным давлением. В соответствии с результатами расчётов струя замерзает только через некоторое время и поэтому может распадаться на монодисперсные капли.

Для экспериментального исследования теплофизических проблем получения криогенных монодисперсных мишеней и их возможного применения в термоядерном синтезе создана экспериментальная установка — прототип криогенной корпускулярной мишени.

Для последующей проверки, полученных результатов, разработаны чертежи генератора капель и элементов сопряжения криогенной монодисперсной мишени с установкой по исследованию Z-пинча АНГАРА- 5-1.

### **Литература**

1. **А.В. Бухаров, В.Д. Королёв.** Использование дейтериевых конденсированных и криогенных монодисперсных мишеней в качестве нагрузок для исследования мегаамперных Z-пинчей. Физ. плазмы, 2022, Т. 48, № 5, с. 430–450.

*Д.К. Захаров, студ.; рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Работа посвящена численному моделированию сопряженного теплообмена в системе со сложной геометрией, для которой нельзя получить аналитическое решение. Проведен расчет тепловой работы водоохлаждаемого элемента ограждения автогенной плавильной печи Ванюкова для двух различных вариантов конструкции.

Построение геометрии для рассматриваемой задачи производилось в конструкторском САД. Расчетная сетка и решение уравнений Навье-Стокса в трехмерной постановке осуществляется в программе Ansys Fluent. Данный инструмент позволяет корректно задать необходимые физические модели и выполнить такие расчеты с достаточной точностью за относительно небольшое время.

В результате решения получены трехмерные распределения скорости и давления воды, температуры воды и кессона. Построены наглядные отображения параметров в виде контурных графиков в сечениях и на поверхностях. Исследовано влияние различных параметров на эффективность системы: режима тепловых нагрузок и конструкционных дефектов.

По результатам работы сделаны выводы о предпочтительном варианте конструкции.

### **Литература**

1. **Валуева Е.П., Свиридов В.Г.** Введение в механику жидкости: Учебное пособие. М: Издательство МЭИ, 2001. — 212 с.
2. **Вернигора А.С.** Влияние технологических режимов плавки медного сульфидного сырья в печи Ванюкова на износ огневой поверхности кессонов // ФГОУВПО Московский государственный институт стали и сплавов. 2009. — с. 159.
3. **Лапин Ю.В.** Статистическая теория турбулентности (прошлое и настоящее — краткий очерк идей) // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Выпуск 2, 2004, С. 7–20.
4. **Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.** Теплопередача // Изд. 2-е. М., «Энергия», 1969. 440 с. с илл.



*И.А. Корняков, студ.; рук. А.П. Крюков, д.т.н., проф.;  
конс. И.А. Ячевский, зав. уч. лаб.;  
конс. Ю.Ю. Пузина, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВАТЕЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕ-II**

В экспериментах по изучению движения границы раздела фаз Не-II в U-образном канале с монодисперсной засыпкой не проводились измерения температуры нагревателя [1], а температура жидкости определялась как соответствующая по линии насыщения при давлении в криостате. Новое исследование посвящено процессам тепломассопереносу при движении Не-II в пустом U-образном канале, представляющем собой изогнутую стеклянную трубку. В одном конце располагается платформа, перекрывающая все сечение канала, на которой находится плоский нагреватель. К этой греющей пластине через термопасту присоединен термоэлектрический преобразователь Т-типа — медь константановая термопара. Вся экспериментальная ячейка погружается в объем сверхтекучего гелия. При подаче тепловой нагрузки в канале образуется паровая пробка, при этом происходят колебания межфазной поверхности.

Главная задача этой работы состоит в анализе показаний температурного датчика и датчика давления (баратрон-мастер) для корректного определения температуры нагревателя. Режимные параметры эксперимента могут варьироваться в широких пределах: давление от 287 до 5000 Па, температура жидкости от 1.4 до 2.17К, температура нагревателя от 1.4 до 100К [2]. В начале эксперимента до подачи нагрузки показания термопары можно соотнести с результатами, полученными от датчика давления. Проанализировав эти данные, вводится поправочный коэффициент к градуировочной зависимости. В соответствии с этим, при увеличении температуры нагревателя осуществляется пересчет показаний термопары. В результате измерений обнаружены колебания температуры и давления, однако частота и амплитуда этих колебаний не соответствуют колебаниям границы раздела фаз и возможно обусловлены, в том числе, собственными неопределенностями приборов.

### **Литература**

1. Yu Yu Puzina, AP Kryukov, PV Korolev and IA Yachevskiy. Experiments of superfluid helium flow in a channel with a monodisperse backfill. // The Third Conference «Problems of Thermal Physics and Power Engineering». J. Phys.: Conf. Ser. 1683. 022017
2. Володин И.В., Корняков И.А., Ячевский И.А. Автоматизация экспериментального стенда по исследованию кипения сверхтекучего гелия // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» 12–15 апреля 2022 г. М.: Издательство МЭИ. С. 64–68.

Н.О. Ключко, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## **ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КРИОГЕННЫХ КОРПУСКУЛЯРНЫХ МИШЕНЕЙ**

В настоящее время монодисперсные технологии широко используются в различных областях науки и техники: энергетике, машиностроении, химической промышленности, металлургии, медицине, биотехнологиях и т.д.

Наиболее интересными и перспективными являются технологии, основанные на взаимодействии криогенных корпускулярных мишеней с высокоэнергетичными пучками [1]. В результате внедрения таких технологий в повседневную практику станет возможным: изучать вещество в экстремальном состоянии; создавать компактные ускорители заряженных частиц (электронов, протонов и тяжёлых ионов); даст возможность производить изотопы и разрабатывать новые методы в ядерной медицине; создавать новые источники излучения для микро- и наноэлектроники.

Главной проблемой, тормозящей внедрение технологий, основанных на взаимодействии криогенных корпускулярных мишеней с высокоэнергетичными пучками является недостаток экспериментальных данных.

Для экспериментального исследования теплофизических проблем получения криогенных монодисперсных мишеней создана экспериментальная установка — прототип криогенной корпускулярной мишени.

Для улучшения возможностей экспериментальной установки предлагается использовать специальную криогенную ловушку.

Разработана математическая модель и с использованием расчётного пакета *Phoenix* проведены расчёты процесса намерзания паров воды на стенки криогенной ловушки.

Полученные результаты могут быть использованы для определения максимального времени работы экспериментальной установки.

### **Литература**

1. **Бухаров А.В.** Криогенные корпускулярные мишени в энергетике / А.В. Бухаров, А.С. МЭИ, 2013 Дмитриев. — М.: Издательство — 144 с.

*М.Д. Утешев, студ.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТВОДА ТЕПЛА ПРИ ИСПАРЕНИИ В ПАРОГАЗОВУЮ СРЕДУ**

Технологии производства современных электронных устройств не стоят на месте, в связи с чем возрастает не только их вычислительная мощность, но и количество тепла, которое они выделяют. Своевременный отвод тепла крайне важен для поддержания бесперебойной работы электронно-вычислительных машин, в противном случае возникает опасность выхода из строя ряда комплектующих. В качестве основных методов используются воздушное охлаждение, представляющее собой совокупность радиатора с вентилятором, а так же испарительное охлаждение.

В настоящей работе рассматривался процесс испарения капли сферической формы, помещенной в парогазовую среду. Предполагалось, что образовавшийся в результате испарения пар отводится от поверхности капли за счет диффузии. Для расчета диффузионного потока по внешней (по отношению к капле) области численно решалось уравнение диффузии. Для решения этого уравнения использовался метод прогонки [1]. На поверхности капли задавались граничные условия первого рода. Предполагалось, что температура капли может изменяться в результате поступления тепла от окружающей среды, а также за счет процесса испарения. Распределение температуры внутри капли не учитывалось. В ходе решения были получены зависимости радиуса и температуры капли от времени.

### **Литература**

1. **Кузнецов Г.В., Шеремет М.А.** Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 172 с.
2. **Пузина Ю.Ю., Королев П.В.** Процессы в холодильной и криогенной технике. Механика двухфазных систем: практикум. М.: Издательство МЭИ, 2019. — 48 с.

*Д. А. Передерий, студент; конс. А.А. Сидоров, к.т.н., ст. преп.;  
рук. Т.А. Алексеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ РАНКА-ХИЛША**

В современном мире вихревая труба находит своё применение в различных отраслях промышленности. В основном она служит для получения подогретых и охлаждённых потоков газа в различных системах захлаживания и термостатирования.

Основным достоинством трубы Ранка-Хилша является отсутствие движущихся частей, что существенно увеличивает надёжность систем захлаживания и термостатирования. Так же небольшие размеры самой вихревой трубы позволяют создавать достаточно компактные установки, которые используются в тех местах, где компактность системы имеет наибольшую значимость: космическая станция, установки разделения воздуха для военных нужд.

Более широкое распространение вихревой трубы в различных отраслях промышленности сдерживает отсутствие единой общепризнанной физико-математической модели, что ведет к низкой точности инженерных расчётов характеристик вихревых труб, которые проводятся по полуэмпирическим методикам и требуют испытаний опытных образцов. Для решения данной задачи можно использовать моделирование процессов охлаждения газа средствами численного моделирования газодинамики. В работе представлена разработанная математическая модель вихревой трубы, решение которой позволяет составить две основные методики для расчёта:

- определение оптимальных геометрических параметров при заданных термодинамических;
- определение термодинамических параметров потока на выходе из вихревой трубы при известных геометрических размерах.

### **Литература**

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ». Москва 1969 г.

*С.А. Захарычев, студ.;*  
*рук. Е.М. Крамченков, к.т.н., доц. (ЛГТУ, Липецк)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПАРОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО АЗОТА В СОСТАВЕ БКО ВРУ**

Криогенная промышленность является неотъемлемой частью большого количества современных производственных площадок. На настоящий момент существует тенденция к развитию и усовершенствованию технологических процессов.

В работе рассматриваются режимы работы парового подогревателя регенерационного азота в составе блока комплексной очистки воздухоразделительной установки. Разделение воздуха происходит с помощью низкотемпературной ректификации, которая является сложным физико-химическим процессом [1]. В ходе ректификации требуется высокая чистота воздуха, которая обеспечивается адсорберами, входящими в состав блока комплексной очистки [3].

Повышение эффективности работы парового подогревателя предлагается осуществить за счёт снижения уровня конденсата в трубном пространстве теплообменника. Процессы, протекающие в паровом подогревателе, описываются рядом уравнений и критериальными зависимостями [2]. Расчёт теплообменника ведётся с помощью конечно-разностного метода с последовательным приближением.

При снижении уровня конденсата в теплообменнике происходит перераспределение зон теплообмена по высоте: зона охлаждения пара, зона конденсации пара, зона остывания конденсата. Новый тепловой режим подогревателя позволяет увеличить температуру нагреваемого азота или снизить количество потребляемого пара.

### **Литература**

1. **Глизманенко Д.Л.** Получение кислорода. М.: Химия, 1972.
2. **Уонг Х.** Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник. М.: Атомиздат, 1979.
3. **Шумяцкий Ю.И.** Промышленные адсорбционные процессы: пособие для студентов химико-технологических специальностей вузов. М.: КолосС, 2009.

*П.П. Краюшкин, студ.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СХЛОПЫВАНИЕ ПАРОВОЙ ПЛЕНКИ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАГРЕВАТЕЛЕ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ**

В докладе рассматривается схлопывание паровой пленки на цилиндрическом нагревателе, погруженном в жидкий гелий с температурой около 2К при давлении насыщения. Считается, что в начальный момент времени на поверхности нагревателя сформирована паровая цилиндрическая пленка с известным начальным радиусом. После выключения тепловой нагрузки в результате процессов тепло- и массопереноса пленка схлопывается до размера нагревателя. Целью исследования является определение времени схлопывания и характера движения межфазной поверхности.

Работа включает в себя анализ результатов экспериментов и математическое моделирование процессов. Экспериментальные данные представлены в виде зависимостей радиуса паровой пленки от времени, которые получены путем измерения размера на изображениях раскадрованного видео. В качестве масштабного образца выбирается диаметр нагревателя 3 мм.

Для построения математической модели использовались уравнения, полученные в [1] и [2]. Движение межфазной поверхности описывается уравнением Рэлея в цилиндрических координатах. Давление пара определяется при дифференцировании уравнения идеального газа Менделеева-Клапейрона. Плотность массового потока при конденсации рассчитывается на основании неравновесного граничного условия [2]. Для решения системы дифференциальных уравнений написана программа, в которой при решении используется метод Адамса.

Результаты расчета (зависимости радиуса паровой пленки от времени) сравниваются с экспериментом. Поскольку в теоретическом описании не учитывается изменение температуры нагревателя при схлопывании пленки, время процесса, полученное расчетным путем (порядка 0,01 с), оказывается в сотни раз меньше экспериментального времени 1 с. Таким образом, температура нагревателя оказывает значительное влияние на динамику границы раздела фаз.

### **Литература**

1. Подавление колебаний границы раздела фаз пар-жидкость при кипении сверхтекучего гелия внутри пористого тела / Крюков А.П., Пузина Ю.Ю. // Инженерно-физический журнал, 2013, Т. 86, № 1, С. 24–30.
2. **Лабунцов Д.А., Ягов В.В.** Механика двухфазных систем: Учебное пособие для вузов — М.: Издательство МЭИ, 2000.

*А.Г. Губайдуллин, студ.; рук. И.М. Дергунов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ С УЧЕТОМ РАБОТЫ ОХЛАЖДАЕМЫХ ВОДОЙ ЭЛЕМЕНТОВ**

Работа посвящена численному моделированию сопряженного теплообмена в системе со сложной геометрией, для которой невозможно получить аналитическое решение. Решена задача об определении тепловой работы водоохлаждаемых элементов огнеупорной футеровки печи Ванюкова, проведено сравнение результатов расчетов, учитывающих факторы, существенно влияющие на конвективную теплоотдачу.

Трехмерная геометрическая модель построена в CAD, на ее основе построена расчетная сетка и настроены математические модели физических процессов в программе вычислительной гидродинамики Ansys Fluent.

В результате проведенной работы были получены трехмерные поля температуры, давления и скорости в каналах системы охлаждения и трехмерное распределение температуры в футеровке. Первый расчет проведен для гладких труб, второй — для шероховатых, что позволило качественно и количественно оценить влияние шероховатости на тепловую работу футеровки. Также проведен расчет без учета воздушных зазоров в футеровке и с учетом, получены данные о влиянии учета зазоров на тепловую работу футеровки. Результаты расчета представлены в виде таблиц числовых параметров и контурных графиков распределений давления и скорости теплоносителя, температуры охлаждающей воды и элементов конструкции.

Актуальность данной работы заключается в значительном повышении наглядности и эффективности анализа тепловой работы футеровки и уменьшении временных и экономических затрат, за счет уменьшения количества натурных испытаний, так как благодаря CFD анализу можно подобрать оптимальный вариант конструкции до ее исполнения в виде изделий.

### **Литература**

1. **Валуева Е.П., Свиридов В.Г.** Введение в механику жидкости: Учебное пособие. М: Издательство МЭИ, 2001. — 212 с.
2. **Лойцянский Л. Г.** Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1973, — 848 с.
3. **Лапин Ю.В.** Статистическая теория турбулентности (прошлое и настоящее — краткий очерк идей) // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Выпуск 2, 2004, С. 7–20.

*Е. Евко, студ.; конс. И.А. Ячевский;  
рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГЕЛИЯ-II В U-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ**

В одном из экспериментов, посвященных исследованиям процессов тепло-массо-переноса при кипении сверхтекучего гелия в стесненных условиях, показано, что в капилляре большой длины жидкий гелий, в отличие от других жидкостей, может двигаться в сторону нагревателя [1]. Позднее в канале с монодисперсной засыпкой обнаружены колебания границы раздела фаз [2]. На основе этих опытов для сравнения процессов тепло-массо-переноса в свободном и заполненном каналах собрано две экспериментальные ячейки: одна с монодисперсной засыпкой, а другая без.

Экспериментальный участок представляет собой U-образную хлоркальциевую трубку внутренним диаметром 16 мм. В один из концов трубки вставлен нагреватель, представляющий собой медный диск диаметром 11 мм, под поверхностью которого располагается спиральный нагреватель из нихромовой проволоки диаметром 50 мкм. Этот диск запрессован в пробку из фторопласта, которая в свою очередь вставляется в верхний патрубок U-образной трубки враспор. Вся сборка дополнительно обрабатывается герметизирующим клеем для предотвращения утечек сверхтекучего гелия. Трубка с помощью держателей крепится к штоку и располагается на определенной глубине внутри криостата, заполненного жидким гелием.

В U-образном канале с монодисперсной засыпкой проведено 10 экспериментальных серий с разной тепловой нагрузкой. Эти серии показали, что мениск в канале колеблется с амплитудой, которая зависит от температуры жидкости — чем выше температура, тем больше амплитуда и частота колебаний.

Для канала без засыпки проведено 10 серий, потребовался меньший тепловой поток для начала кипения сверхтекучего гелия и последующих колебаний внутри колена рядом с нагревателем, чем для ячейки с монодисперсной засыпкой. Амплитуда колебаний в канале без засыпки в несколько раз превышает соответствующую величину для стесненных условий.

### **Литература**

1. **Королев П.В., Крюков А.П., Медников А.Ф.** Экспериментальное исследование движения гелия-II в капилляре при наличии паровой полости вблизи нагревателя // Вестник МЭИ. 2006. № 4. С. 27–33.
2. **Korolyov P.V., Kryukov A.P., Puzina Yu.Yu., Yachevsky I.A.** Experiments of superfluid helium flow in a channel with a monodisperse backfill // Journal of Physics: Conf. Series 1683 (2020) 022017 doi:10.1088/1742-6596/1683/2/022017



*Х.А. Цечоев, студент;  
рук. А.А. Сидоров, к.т.н., ст.преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЁТ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ СТУПЕНИ РАДИАЛЬНОГО ТУРБОДЕТАНДЕРА**

Детандер — это устройство, которое преобразует внутреннюю энергию рабочего вещества, в данном случае газа, в механическую энергию. Газ при этом охлаждается, так как совершает работу. Наиболее часто встречаемые детандеры — турбодетандеры.

Обширное применение турбодетандерам нашли в ожижительных и воздухоразделительных установках, а также в СПГ. В нынешнее время большой спрос на турбодетандеры получили для создания установок по утилизации энергии дросселируемого природного газа.

В нынешнее время российская нефтегазовая отрасль нуждается в турбомашин расширительного типа, особенно в рамках импортозамещения.

Целью данного исследования является отработка методики расчета проточной части радиального турбодетандера для чистых и смесевых рабочих тел без конденсации. На данный момент реализована методика для чистых веществ для идеального газа. Также методика была модернизирована для реальных газов. В дальнейшем планируется переделать методику для реализации расчета смеси газов метана, пропана и бутана.

### **Литература**

1. **В.И. Епифанова.** Низкотемпературные радиальные турбодетандеры / Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Москва, «Машиностроение», 1974, 448 с.
2. **Коротков В.А., Татаренко Ю.В., Данилов М.М.** Расчет центростремительного радиального холодильного детандера. Учеб.-метод. пособие. — СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. — 35 с.
3. **Вассерман А.А.** О составлении единого уравнения состояния для газа и жидкости с помощью ЭВМ. Теплофизические свойства веществ и материалов / ГСССД, 1976, — 34 с.

*А.Д. Лапин, студ.; рук. Т.А. Алексеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТЫ ГАЗОВЫХ НАГРУЗОК НА КОМПОНЕНТЫ ИНЖЕКЦИОННОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ ПУЧКАМИ БЫСТРЫХ АТОМОВ ДЛЯ ПРОЕКТОВ ТЕРМОЯДЕРНОГО ИСТОЧНИКА НЕЙТРОНОВ**

В данной работе освещается актуальная научно-прикладная тема исследования профиля плотности газа по длине инжектора токамака. Научная новизна и практическая значимость этой работы обусловлена работой над проектами термоядерного источника нейтронов ДЕМО-ТИН и ТИН-СТ. При проектировании подобных установок одним из ключевых параметров, оказывающих существенное влияние на выбор геометрии инжектора, является плотность газа, что обуславливает необходимость нахождения распределения плотности газа по длине разных элементов конструкции. Целью работы являлось построение профиля плотности газа по длине инжекторов токамаков ТИН-СТ и ДЕМО-ТИН, а также анализ различных конфигураций инжектора ТИН-СТ.

Для моделирования используется код MCGF (Monte Carlo Gas Flow). В основу кода MCGF положен трехмерный «закон косинуса» для описания поступления газа из любого источника. Суть закона демонстрирует шар на поверхности: вероятность вылета в направлении (определенном генератором случайных чисел) пропорциональна длине вектора от точки касания шара до касания с поверхностью шара. Таким образом, максимальна вероятность вылета по нормали к поверхности и нулевая параллельно к ней.

Результаты расчета (профили плотности для различных типов инжекторов и их различных конфигураций) сравниваются между собой, а также с приведёнными в [1]. Таким образом, определяется наиболее выгодная геометрическая конфигурация криопанелей.

### **Литература**

1. Modeling and optimization of the neutral beam line for plasma heating and current drive for the DEMO-FNS fusion neutron source project / S.S. Ananyev, E.D. Dlougach, A.I. Krylov, A.A. Panasenkov, B.V. Kuteev // Fusion Engineering and Design 161 (2020).

*Г.Г. Шлыков, студ.;  
рук. М.С. Зубарев, ст. преп. каф. НТ (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ЭЛЕКТРОЛИЗОМ**

Производство водорода электролизом воды с использованием возобновляемых источников энергии («зелёного водорода») остаётся на сегодняшний день одним из приоритетных направлений мировой энергетики. Водород, как энергоноситель, является перспективным топливом и для нашей страны.

Существенную роль в возможности применения технологии имеет присутствие на месте производства воды высокой степени очистки (деминерализованной). В идеале — химически чистой, поскольку технология отбирает из раствора только водород и кислород. Все же остальные компоненты остаются в процессе, что часто приводит к преждевременному выводу в ремонт или даже повреждению компонентов электролизера. Использование поверхностных и подземных вод для целей электролиза подразумевает необходимость тщательной очистки, то есть организацию системы водоподготовки. Однако, сложный химический состав воды, во многих случаях не только усложняет схему, но и не даёт возможности провести полный анализ, гарантировать качество. В результате, эксплуатация электролизеров оказывается необоснованно дорогой.

В работе рассмотрены подходы к использованию в качестве источника воды — конденсата, включая атмосферную влагу и генерирующие конденсат процессы. Электролиз непосредственно влажного воздуха пока находится в стадии идеи [1]. А процесс конденсации воды из атмосферы — напротив, встречается во многих устройствах. При этом, получаемая вода изначально существенно чище артезианской или речной, сам источник повсеместно доступный, бесплатный и неисчерпаемый. Тем не менее, процесс получения конденсата может быть достаточно энергозатратным и сам атмосферный воздух содержит примеси, которые могут повлиять на процесс электролиза.

### **Литература**

1. **Guo J, Zhang Y, Zavabeti A** Hydrogen production from the air. Nature Communications, 5046-2022, DOI 10.1038\_s41467-022-32652-y

*В.В. Рудова, студ.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ)*

## **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА ДЛЯ ИСПАРЕНИЯ С МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В данной работе рассмотрено решение задачи об интенсивном испарении жидкости при внезапном повышении температуры межфазной поверхности в существенно неравновесных условиях. При расчетном анализе интенсивного испарения с поверхности конденсированной фазы с помощью решения кинетического уравнения Больцмана было показано, что пар, движущийся от межфазной границы, является пересыщенным [1]. Целью настоящей работы является определение условий, при которых степень пересыщения будет достаточной для того, чтобы в нем началась гомогенная конденсация. Для описания процессов переноса на поверхности конденсированной фазы и в паре используется кинетическое уравнение Больцмана, которое решается численно. При этом применяется схема расщепления по физическим процессам: на каждом шаге по времени сначала решается уравнение свободномолекулярного разлета, а затем уравнение пространственно однородной релаксации. При численном решении задачи область, занятая паром, должна быть ограниченной, поэтому на достаточно большом расстоянии от поверхности жидкости помещалась вспомогательная межфазная граница, температура которой равна начальной температуре пара. Расчет прекращается, когда возмущение в паре, вызванное контактом с жидкостью, доходит до вспомогательной поверхности. Аналогичный подход использовался в [2] для конденсации из полубесконечного пространства.

Хотя задача решается в безразмерном виде, как и в [2], корректная оценка степени пересыщения требует использования зависимости давления насыщения от температуры для конкретного вещества. Расчеты для различных веществ выполняются с использованием оригинальной программы на языке Fortran в пакете Code:Blocks (свободно распространяемое программное обеспечение). Количественные данные будут представлены на конференции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 22-19-00044.

### **Литература**

1. **С.И. Анисимов, Я.А. Имас, Г.С. Романов, Ю.В. Ходыко.** Действие излучения большой мощности на металлы // М.: Наука, 1970.
2. **А.К. Ястребов.** Об использовании неравновесных граничных условий для исследования конденсации при внезапном контакте холодной жидкости и насыщенного пара // Известия Академии наук. Энергетика. 2010. № 6. С. 21–29.

*А.А. Кардаков, студ.; рук. М.С. Зубарев (НИУ «МЭИ»)*

## **ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫЙ АГРЕГАТ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

На компрессорных станциях в качестве привода нагнетателя природного газа используются газотурбинные установки (ГТУ), топливом для которых является транспортируемый природный газ. Перед подачей газа в камеру сгорания ГТУ необходимо снизить давление по принципу дросселирования.

Альтернативой дросселированию является применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА). Основные части ДГА — детандер и электрогенератор. Существуют два типа таких агрегатов, отличающихся по принципу действия, — объемные и кинетические. К машинам объемного действия относятся поршневые детандеры. Расширительные машины кинетического действия называются турбодетандерами или газовыми расширительными турбинами. Применение ДГА на компрессорных станциях является перспективным направлением для увеличения экономической эффективности предприятий.

В настоящее время на компрессорных станциях для выработки электроэнергии используют дизельные и газотурбинные электростанции собственных нужд, работающие на органическом топливе, а также внешние источники электроэнергии, т. е. использование ДГА в системе топливного газа дает возможность снижения затрат на топливо для их работы и снижение потребности в закупаемой электроэнергии [1].

В ходе выполнения работы проведен расчет ступени детандер-генераторного агрегата. Рассчитаны действительные параметры за рабочим колесом. Получены размеры и параметры рабочего колеса и направляющего аппарата. Выполнена проверка на технологичность изготовления рабочего колеса. Определена холодопроизводительность и КПД агрегата. Ведется разработка и описание технологической схемы детандер-генераторного агрегата.

### **Литература**

1. **Седунин В.А., Шемякин А.С.** Особенности проектирования детандер-генераторного агрегата в системе топливного газа компрессорного цеха // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 5. С. 105–121.

**Секция 43**  
**НАНОТЕХНОЛОГИИ**  
**Nanotechnologies**

---

*Председатель секции:*

*д. т. н., профессор Дмитриев Александр Сергеевич*

*Секретарь секции: к. т. н. Макаров Петр Георгиевич*

*Е.О. Комаров, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

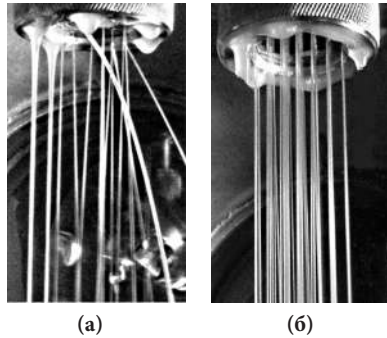
## **ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ ФИЛЬЕРЫ НА ЕЁ СМАЧИВАЕМОСТЬ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КХИ**

В настоящее время одной из основных проблем в освоении космического пространства является сброс избыточного тепла от космических аппаратов (КА) высокой мощности. Наиболее перспективными системами сброса избыточного тепла являются капельные холодильники-излучатели (КХИ), которые существенно превосходят традиционные системы сброса тепла по эффективности теплоотвода и массо-габаритным характеристикам. При мегаваттных мощностях КА альтернативы КХИ на данный момент не существует [1].

Стабильность работы КХИ зависит от смачиваемости поверхности сопловых элементов выходного насадка генератора каплеь, через которые теплоноситель выбрасывается в космическое пространство. Во время пуска и коррекции орбиты КА на сопловых элементах из-за смачивания могут образоваться капли, препятствующие появлению параллельных струй (см. рис. 1).

В данной работе представлены результаты изучения влияния температуры на смачиваемость каплями вакуумного масла ВМ-1 поверхностей из различных материалов. Эксперименты проводились на поверхностях из нержавеющей стали и фторопласта. Смачиваемость определялась по методу лежащей капли.

Полученные результаты могут быть использованы при создании выходных насадок генераторов каплеь, обеспечивающих наиболее стабильную работу КХИ.



**Рис. 1.** Влияние смачиваемости при различных скоростях истечения: (а) малая скорость, (б) большая скорость

### **Литература**

1. **Г.В. Конюхов, А.В. Бухаров, В.Г. Конюхов.** К проблеме отвода низкопотенциального тепла от космических систем большой мощности. Инженерно-физический журнал, Отдельный оттиск, Том 93, № 1, январь-февраль 2020.

*В.С. Терешкин, студ.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ**

В работе [1] показано, что при интенсивном испарении образовавшийся пар пересыщен, причем увеличение интенсивности испарения ведет к увеличению степени пересыщения (отношение парциального давления пара к давлению насыщения). В этих условиях может реализоваться процесс гомогенной конденсации пара [2].

Одним из возможных подходов, позволяющих оценить влияние процесса гомогенной нуклеации на интенсивность испарения, является метод молекулярно-динамического (МД) моделирования [3]. Пример использования данного метода представлен в работе [5].

Одной из проблем, возникающей при рассмотрении процесса гомогенной нуклеации методами МД моделирования, является определение числа кластеров и их размеров [6].

В настоящей работе процесс образования кластеров в перенасыщенном паре рассматривается с использованием методов молекулярной динамики. Предложен алгоритм для определения числа кластеров заданного размера в системе. Результатом моделирования является зависимость числа кластеров заданного размера от времени. Рассмотрены различные степени пересыщения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00044

### **Литература**

1. **Крюков А.П.** Процессы переноса в существенно неравновесных системах: учебное пособие. М.: МЭИ, 2013.
2. **V.I. Kalikmanov** Nucleation Theory, Springer Netherlands, 2013.
3. **Rapaport D.C.** The art of molecular dynamics simulation. Second Edition, Cambridge University Press, 2004.
4. **Zhakhovsky V.V., Kryukov A.P., Levashov V.Y., Shishkova I.N., Anisimov S.I.** Mass and heat transfer between evaporation and condensation surfaces: Atomistic simulation and solution of Boltzmann kinetic equation // PNAS, Vol. 116, 2018.
5. **Zhukhovitskii D.I., Zhakhovsky V.V.** Thermodynamics and the structure of clusters in the dense Au vapor from molecular dynamics simulation // J. Chem. Phys., Vol. 152, 2020.
6. **Guo D., Cao X., Zhang P., Ding G., Liu Y., Cao H., Bian J.** Heterogeneous condensation mechanism of methane-hexane binary mixture // Energy, Vol. 256, 2022.



*М.М. Новиков, студ.; науч.  
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);  
конс. Д.В. Болтунов, нач. сектора (АО «РКС», г. Москва);  
конс. К.Д. Шестакова, инж.-технолог 2 кат. (АО «РКС», г. Москва)*

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МЭМС МЕТОДОМ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

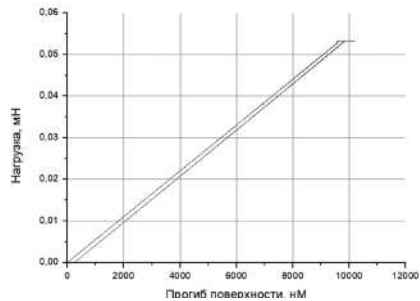
Исследование механических характеристик МЭМС (микроэлектромеханические системы), тестирование и диагностика производимых изделий, систематизация результатов производства необходимы для повышения качества МЭМС и снижения количества бракованных изделий.

Цель работы — механическое испытание исследуемых образцов методом неразрушающего контроля. В качестве объекта исследования использован чувствительный элемент акселерометра, изготовленный из кремния методом объемной технологии.

Исследование упругого прогиба подвеса чувствительного элемента акселерометра выполнено на нанотвердомере «НаноСкан3D» при малых нагрузках, полученные результаты обработаны с помощью метода Фурье, исключаящего инструментальную погрешность (рис. 1).

После коррекции результатов измерений выявлено их соответствие модели упругой деформации закона Гука, определена жесткость и энергия упругой деформации.

Полученные данные обеспечивают обоснованный контроль на испытаниях МЭМС. Апробированный метод нашел успешное применение в диагностике получаемых МЭМС-изделий.



**Рис. 1.** Механические свойства материала при нагрузке и разгрузке

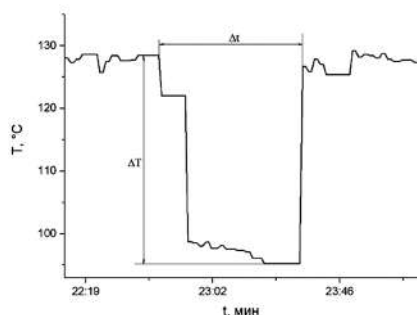
### Литература

1. **Ю.И. Головин.** Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007. — 496 с.
2. **Королева В.А., Капустян А.В., Жуков А.А., Гоголинский К.В., Усеинов А.С.** Оценка изгибной жесткости и деформации микроразмерных исполнительных элементов устройств микросистемной техники // Нано- и микросистемная техника. 2011. № 1. С. 39–42.
3. **Королева В.А., Жуков А.А., Болтунов Д.В.** Оценка характеристик микроразмерных слоистых исполнительных элементов устройств микросистемной техники // Нано- и микросистемная техника. 2012. № 4, с. 42–45.

*А.В. Артамонов, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., профессор;  
конс. П.Г. Макаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ С ГРАФЕНОСОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Модернизация электронных изделий связана с повышением мощности систем, что в свою очередь, увеличивает тепловыделение от электронных компонентов — это может привести к снижению эффективности устройства ввиду нагрева электронных соединений и увеличению вероятности отказа. В системах отвода тепла все чаще начинает использоваться жидкостное охлаждение и одним из видов такого охлаждения является капельное охлаждение [1].



**Рис. 1.** График зависимости температуры поверхности пластины от времени

туры ( $T$ ) поверхности пластины от времени ( $t$ ) (рис. 1).

По полученным зависимостям было выдвинуто предположение, что нанесение частиц графена на поверхность пластины позволяет уменьшить температуру пластины при капельном охлаждении, а также увеличивает время, в течении которого эта поверхность остаётся в охлаждённом состоянии.

### Литература

1. **Колпаков А.** Охлаждение в системах высокой мощности // Силовая электроника. 2010. № 3. С. 62–66.

*Д.В. Воробьев, асп.;*  
*рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **О КОНЦЕПЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНОЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ**

Вопрос активной термостабилизации и охлаждения устройств микро — и оптоэлектроники является актуальным, так как температура устройств влияет на ключевые характеристики оптоэлектронных устройств, такие как: длина волны лазерного диода, темновой ток фотодетектора и другие. Постоянный рост мощности лазерных диодов, одновременно с уменьшением их размеров, и постоянное ужесточение требований к энергопотреблению, приводит к более тщательной проработке системы термостабилизации [1–3]. В этой работе мы рассматриваем активную термостабилизацию и охлаждение оптоэлектронных устройств с помощью термоэлектрических модулей. Рассматриваются вопросы оптимизации конструкции оптоэлектронных устройств с целью снижения энергопотребления системы активной термостабилизации в промышленном диапазоне температур эксплуатации оптоэлектронных устройств ( $-45^{\circ}\text{C}$ ;  $85^{\circ}\text{C}$ ).

В данной работе представлены исследования в области теплофизики функционирования оптоэлектронных устройств с системой термоменеджмента на базе термоэлектрических кулеров [1, 3]. Представлены схема установки для тестирования оптоэлектронных устройств и схемы оптоэлектронных устройств с термоэлектрическим охлаждением, а также представлены результаты измерений энергопотребления термоэлектрических модулей в температурном диапазоне работ оптоэлектронных устройств.

Основная цель работы — изучение особенностей конструкции оптоэлектронных устройств с активной термостабилизацией с помощью термоэлектрических модулей, поиск направлений для снижения энергопотребления или увеличения глубины охлаждения при сохранении подводимой мощности.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Je-Hyeong B., Favalaro T. and Shakouri A.** 2013 Thin-film thermoelectric characterization techniques Annu. Rev. Heat Transfer 16 51–99.
3. **X. Shi, J. Zou, Z. Chen.** Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices, Chem. Rev. 120 (2020) 7399–7515.

*Д.В. Воробьев, асп.;*  
*рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С АКТИВНОЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ**

Современные темпы развития электронных компонентов и оптоэлектронных устройств крайне стремительны. Однако при увеличении мощности таких устройств также происходит их миниатюризация, что требует оптимизации системы теплоотвода. Для оптоэлектронных устройств с активной термостабилизацией с помощью термоэлектрических модулей задача оптимизации имеет дополнительные степени свободы [1–5].

Одним из важнейших вопросов оптимизации устройств с активной термостабилизацией является вопрос снижения энергопотребления термоэлектрических модулей в составе оптоэлектронного устройства.

Основная цель работы — разработка установки для проведения исследования рабочих режимов работы оптоэлектронных устройств с активной термостабилизацией с помощью термоэлектрических модулей, а также изучение работы термоэлектрических модулей в диапазоне температур от минус 40°C до плюс 85°C.

В этой работе представлены методики разработки экспериментальной установки исследования работы оптоэлектронных устройств с активной термостабилизацией с помощью термоэлектрических модулей, описаны ее особенности. Разработанная установка позволяет измерять следующие основные теплофизические характеристики термоэлектрических модулей: максимальный перепад температур на сторонах термоэлектрических модулей, максимальная холодопроизводительность и другие характеристики. В работе были произведены оценки точности измерения теплофизических характеристик термоэлектрических модулей в составе оптоэлектронных устройств.

### **Литература**

1. **Дмитриев А. С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Freer R., Powell A.** Realising the potential of thermoelectric technology: a Roadmap, *J. Mater. Chem. C* 8 (2020) 441–463.
3. **X. Shi, J. Zou, Z. Chen.** Advanced thermoelectric design: from materials and structures to devices, *Chem. Rev.* 120 (2020) 7399–7515.
4. **A. Nozariasbmarz, R. Kishore, W. Li, Y. Zhang, L. et al.** *Appl. Phys. Lett.* 120, 164101 (2022).
5. **A. Ziabari, M. Zebarjadi, D. Vashaee and A. Shakouri.** Nanoscale solid-state cooling: a review. 2016 *Rep. Prog. Phys.* 79 095901.

Чан Куок Тхинь, асп.;  
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## **РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С НАНОЖИДКОСТЯМИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЕРСПЕКТИВНЫМ ЗАДАЧАМ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

Развитие альтернативной энергетики в последнее время связано с солнечной теплоэнергетикой и применением нанотехнологий и наноматериалов, как совершенных механизмов радикального улучшения эффективности преобразования солнечного излучения в пар и получение чистой и обессоленной воды [1–3]. Для обеспечения стабильного воздействия солнечного излучения на наножидкость необходимо исследовать основные процессы при нагреве наножидкости. В рамках настоящего исследования разработан и создан экспериментальный стенд, на базе которого исследуются процессы взаимодействия лазерного и/или солнечного излучения (реальное солнечное излучение или солнечный имитатор) с различными наножидкостями. Экспериментальный стенд включает в себя систему подготовки наножидкости, метрологию ее оптических и теплофизических свойств, процесс взаимодействия излучения в различных режимах, измерения тепловых свойств наножидкости в процессе нагрева вплоть до генерации пара, с последующим использованием пара в качестве теплоносителя или для получения методом конденсации чистой воды. Установка позволяет измерить температуру в рабочей зоне, скорость генерации пара, гидродинамику наножидкости и пара, поведение межфазных границ наножидкость-пар и другие характеристики. Кроме того, экспериментальный стенд позволяет изучить поведение компонент наножидкости (наночастиц, углеродных нанотрубок, графеновых хлопьев и т.п.) относительно процессов стабильности (седиментация наноконпонентов, их оседание на стенках опытного объема и т.п.). Созданная экспериментальная установка позволяет отрабатывать основные режимы генерации пара и получения чистой воды.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Дмитриев А.С., Клименко А.В.** Преобразование солнечного излучения в пар — новые возможности на основе наноматериалов (обзор). Теплоэнергетика. 2020, № 2, с. 1–16.
3. **Dmitriev A.S. Klimentko A.V.** On thermal problems of the solar thermal multigeneration: new nanomaterials and working fluids. Journal of Physics: Conference Series. 2150 (2022).

*В.В. Ермичев, студ.; А.С. Дмитриев д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕРМОГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ И СТРУЙ НАНОЖИДКОСТИ**

Поведение смоченных жидкостью твердых поверхностей важный аспект поверхностной физико-химии, который важен в огромном числе различных приложений. Когда жидкая капля помещается на твердую поверхность, возможны различные варианты ее поведения: от ситуации, когда она остается каплей до случая, когда она растекается по поверхности в виде тонкого жидкого слоя. Это поведение принято характеризовать контактным углом. Для твердой подложки, когда контактный угол (для воды) больше  $150^\circ$ , принято называть ситуацией супергидрофобности. В другом предельном случае, когда контактный угол близок к нулю — случаями супергидрофильности. Для реальных поверхностей имеет место гистерезис, т.е. за счет различных несовершенств поверхности тела (дефекты, неоднородности, включая химические, структурирование и т.п.) реальный контактный угол лежит между двум значениями, которые носят название соответственно опережающий угол и угол скатывания. Разница между этими углами носит название гистерезиса контактного угла. Особенно хорошо гистерезис наблюдается для капли на наклонной несовершенной поверхности, что позволяет проводить его измерение.

В работе изучались процессы смачивания и движения капель различных жидкостей, включая наножидкости, по наклонной поверхности. Выяснилось, что алюминий, покрытый сажей гидрофобен к воде и наножидкости с графеном. Однако данная поверхность гидрофильна к спирту. Также в работе использовалась подложка с графитом на поверхности. Она оказалась гидрофильна к спирту, но гидрофобна к воде с графеном. Подложка из алюминия показывала промежуточные случаи смачиваемости. Был измерен гистерезис смачивания на подложках из алюминия, графита и сажи на поверхности. В качестве жидкостей на различных подложках использовались вода, спирт и наножидкость с графеном.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: Бином, 2015.
2. Международный журнал тепло- и массообмена, Том 148, февраль 2020. Распределение теплового потока под испаряющимися гидрофильными и супергидрофобными каплями.

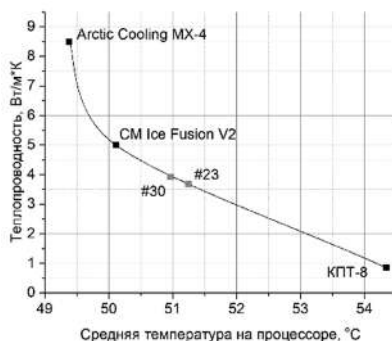
*Д.Д. Бабенко, соиск.;  
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАТЕРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ И СЛОЙНОСТИ ГРАФЕНОВЫХ НАНОХЛОПЬЕВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ ЕГО ТЕРМОИНТЕРФЕЙСОВ

В связи с высоким ростом производительности устройств микро- и оптоэлектроники и, как следствие, с увеличением тепловыделения, проблема отвода тепла от них стала вновь актуальной. Чтобы уменьшить контактное тепловое сопротивление между устройством и системой охлаждения, применяются термопасты. Многие современные термопасты обладают относительно низкой теплопроводностью, что приводит к быстрой деградации устройств и даже выходу их из строя. Наряду с другими аллотропными модификациями углерода графен стал использоваться как перспективный материал для повышения теплопроводности термопаст.

Целью работы является получить оптимальные характеристики графеновых нанохлопьев для использования в изготовлении термопаст на базе полиметилсилоксана.

В данной работе представлены результаты измерения теплопроводности паст с добавлением графена с различными линейными размерами, а также различной слойностью. В зависимости от используемых графеновых хлопьев удалось получить прирост по теплопроводности до 50%, а также образцы на базе латуни, оксида алюминия и цинка, полиметилсилоксана (рис. 1) с теплопроводностью выше 4 Вт/м·К. Проведены измерения теплопроводности, микроскопия, оценка адгезионных свойств.



**Рис. 1.** Зависимость значений теплопроводности от средней температуры на процессоре

### Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Kafil M. Razeeb, Eric Dalton, Graham Lawrence William Cross & Anthony James Robinson.** Present and future thermal interface materials for electronic devices, International Materials Reviews, 2017 DOI: 10.1080/09506608.2017.1296605
3. **A.S. Dmitriev.** Hybrid Graphene Nanocomposites: Thermal Interface Materials and Functional Energy Materials, Graphene Production and Application, 2019, DOI: 10.5772/intechopen.89631

*С.С. Журавлёв, асп. (НИУ «МЭИ»);  
рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НАГРЕТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Современное повсеместное внедрение цифровых технологий требует увеличения количества вычислительных мощностей, что в свою очередь приводит к непрерывному прогрессу микро- и нанoeлектроники. Обратной стороной повышения производительности микропроцессоров является рост их тепловыделения, что приводит к потенциальному снижению характеристик, а иногда к повреждению устройств вследствие перегрева компонентов.

Во избежание перегрева электронных систем используются разнообразные методы терморегуляции. Традиционным решением является теплоотвод с использованием процессов теплопроводности. Радиаторы, а также различные их развития в виде комбинированных систем.

Однако применение таких методов терморегуляции как радиаторы имеет ряд особенностей, накладывающий определенные требования к эксплуатации. Ключевая из них — обеспечение оптимального теплопереноса от нагретой поверхности к системе охлаждения.

Контактные поверхности теплообмена имеют локальные неровности, трещины, шероховатости, в которых могут скапливаться объёмы воздуха. Воздух обладает крайне низким коэффициентом теплопроводности, в результате эффективность охлаждения ощутимо снижается.

Для обеспечения полного контакта поверхностей и предотвращения образования воздушных зазоров применяются термоинтерфейсные материалы.

В данной работе представлены результаты исследований процессов теплопроводности при применении образцов термоинтерфейсных материалов. Под задачи исследований была спроектирована и создана установка по принципиальной схеме теплопроводности. В дополнение к результатам, полученным на установке, были добавлены результаты расчетного моделирования процессов для анализа и оценки полученных данных.

### **Литература**

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Khan M.F., Balandin A.A.** Graphene-multilayer graphene nanocomposites as highly efficient thermal interface materials. *Nano Lett.* 12 (2). 2012. P. 861–867.



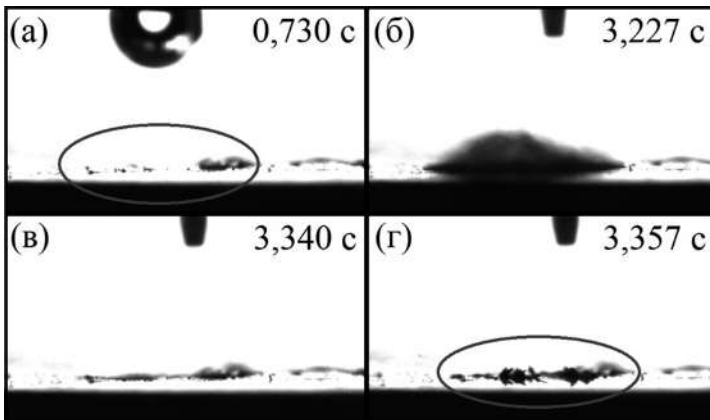
*М.А. Бурносов, студ.;*  
*рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФЕНОВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Исследование относится к области теплофизики поверхностей графеновых нанокомпозитов. Представлены измерения времени испарения и угла гистерезиса жидкостей с поверхности графеносодержащих образцов. Проведён сравнительный анализ гидродинамических и теплофизических свойств различных композитов на основе графеновых нанохлопьев [1].

Цель работы — изучение гидродинамических свойств и параметров разрушения нанокомпозитов на основе графена. Исследование физико-химических свойств такого рода поверхностей перспективно в системах, использующих капельный метод охлаждения [2].

В работе приведены методики и схемы экспериментальных установок для исследования физико-химических свойств материалов. Исследуются образцы из графеновых нанохлопьев запрессованные под различным давлением и композиты с добавлением латунных порошков и сеток.



**Рис. 1.** Процесс испарения капли с образца, в правом верхнем углу указано время с момента начала записи видео. Серия снимков демонстрирует процесс вырывания хлопьев графена с поверхности при определённых условиях

### Литература

1. **А.С. Дмитриев**, Введение в нанотеплофизику. М.: Бином, 2015.
2. **D.D. Babenko, A.S. Dmitriev, I.A. Mikhailova**, «Active thermal interface graphene nanocomposites for thermal control of electronic and power devices» Journal of Physics: Conf. Series 2150 (2022) 012008

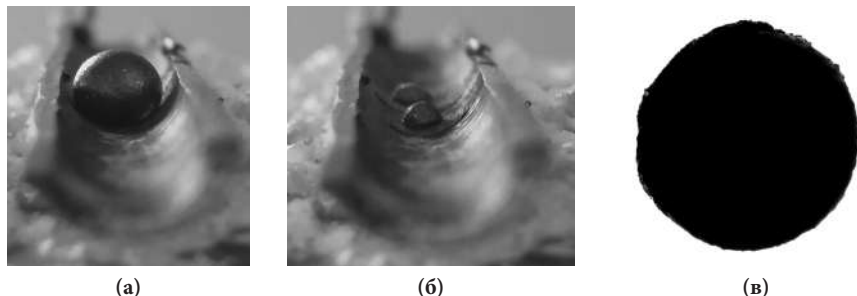
*А.П. Дроздов, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭФФЕКТ ЛЕЙДЕНФРОСТА КАК СРЕДСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ МИКРОЧАСТИЦ**

Во время проведения эксперимента по испарению капле коллоидного раствора с полуцилиндрической поверхности, нагретой до температуры, равной или выше точки Лейденфроста [1], было зафиксировано, что после полного испарения капле образуются твердые сферические микрочастицы (рис. 1 а.б.в). Использовался коллоидный раствор, состоящий из: 93% дистиллированной воды, 3.5% поваренной соли и 3.5% графена (указаны массовые доли раствора).

Данный процесс образования твердых частиц можно использовать как метод получения частиц с определенными параметрами и физическими характеристиками, необходимыми в тех или иных отраслях. К примеру, если использовать вместо графена биоразлагаемые полимеры, возможно получение микроконтейнеров, применение которых оправдано в медицине. Также данные микросферы на основе графена можно применить в электронных устройствах в качестве наполнителя для термопаст.

Исследования в данном направлении имеют фундаментальное значение в плане изучения пленочного кипения на поверхностях нестандартной формы и рельефа, а также как способа получения микрочастиц.



**Рис. 1.** Снимки образующихся структур: (а) процесс выкипания коллоидного раствора; (б) частицы, получаемые методом выпаривания взвеси на основе графена и поваренной соли при температуре равной или выше точки Лейденфроста; (в) изображение одной из микрочастиц под увеличением

### **Литература**

1. **Джерл Уокер.** Кипение и эффект Лейденфроста; Государственный Университет Кливленда, 1994.

*К.Н. Люсина, студ.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬ НАНОЖИДКОСТЕЙ С ТЕРМОАКТЮАТОРАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Термоактюаторы представляют собой микроэлектромеханические системы (МЭМС), которые могут играть роль сенсоров, подвижных элементов с сухим трением, систем управления режимами течений и тепломассообмена в различных областях приложений [1–3].

В некоторых энергетических и космических приложениях, термоактюаторы, выполненные по технологии биморфных конструкций, могут использоваться в качестве элементов для сенсорики жидкостей. Принцип действия подобных устройств состоит в возможности измерения температуры при воздействии на биморфную площадку актюатора каплей различных, включая нанокolloидные, жидкостей [3].

В работе представлены данные по экспериментальной установке и полученные опытные данные по взаимодействию капель жидкостей, включая наножидкости, с термоактюаторами в различных температурных режимах. Исследованы режимы лазерного нагрева биморфных площадок термоактюатора для управления режимами взаимодействия с ними каплей жидкостей и наножидкостей, и построены модели такого взаимодействия.

Самым «ярким» результатом является наблюдение сильного гистерезиса смачивания каплями жидкости поверхности термоактюатора.

В результате проведенных исследований было выяснено, что взаимодействие нагретых до различных температур капель, а также воздействие лазерного излучения, могут обеспечивать режимы управления термоактюатора или служить основой для создания сенсоров капель жидкостей для тепломассообменных или энергетических устройств.

### **Литература**

1. **Potekhina and C. Wang.** Review of Electrothermal Actuators and Applications. *Actuators* 2019, 8, 69. 1–28.
2. **Yang, S.; Xu, Q.** A review on actuation and sensing techniques for MEMS-based microgrippers. *J. Micro-Bio Robot.* 2017, 13, 1–14.
3. **А.С. Дмитриев, А.А. Жуков, А.А. Никитин.** Об энергообеспечении шагающего космического микроробота. Сборник тезисов 33-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», 29–30 сентября 2022 г., г. Санкт-Петербург, с. 328–330.

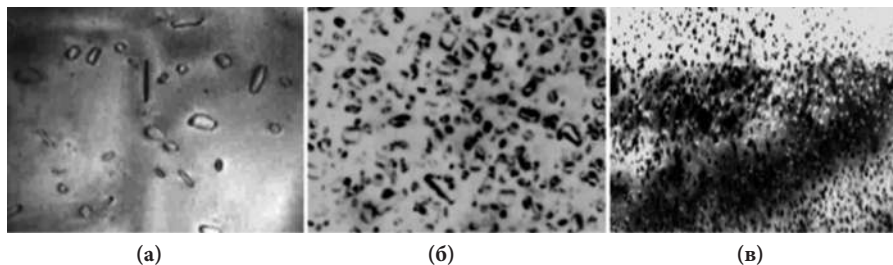
*А.В. Ляукин, студ. (НИУ «МЭИ»);  
А.Н. Колкий, асп. (ГНЦ АО «НПО «Орион»);  
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТТЕРИРОВАНИЯ ВЫСОКООМНОГО КРЕМНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОДИОДОВ**

В работе изучалась возможность применения процессов геттерирования высокоомного кремния методом ионной имплантации бора, фосфора и аргона для использования в технологии изготовления фотодиодов.

Исследование проводилось на пластинах  $d=76$  мм высокоомного высокочистого кремния, выращенного методом бестигельной зонной плавки. Время жизни неосновных носителей заряда в таком материале составляет 400–800 мкс. В ходе изготовления фотодиодов происходит постоянное увеличение количества дефектов [1], которые представляют собой примесные атомы тяжелых металлов, такие дефекты приводят к снижению времени жизни неосновных носителей заряда и возрастанию обратных токов фотодиодов. Для исключения нежелательного влияния таких дефектов широко используются методы геттерирования ионной имплантацией. Использовались три группы пластин. На первой группе проводились эксперименты с геттерированием бором, на второй — геттерирование фосфором, на третьей группе проводились эксперименты с аргоном.

В работе показано, что метод ионной имплантации аргона с энергией  $E=100$  кэВ и дозой  $D=2 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> наиболее эффективен в технологии изготовления фотодиодов на основе высокоомного кремния. Часть полученных результатов показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Поверхность кремния после имплантации ионами В<sup>+</sup>:  
(а)  $D = 2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>; (б)  $D = 6 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>; (в)  $D = 2 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>

### **Литература**

1. **Струков Ф.В., Фстахов В.П., Борискина Н.В.** Геттерирующая активность дефектов имплантационного происхождения в кремнии. // Поверхность. Физика, химия, механика, 1989, вып. 6, с. 92–99.
2. **Чапкевич А.Л.** Ионно-имплантационные методы технологии полупроводниковых СВЧ и фотодиодов. М.: ЛАТМЭС, 2003. — 219 с.

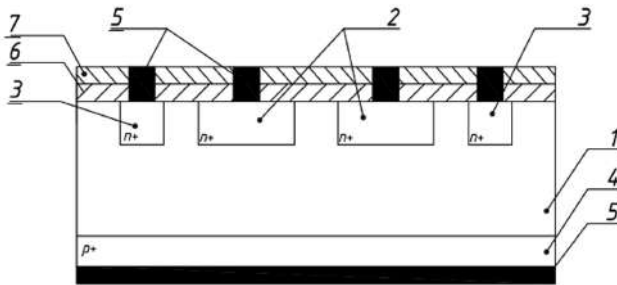
*М.Е. Самойлова, студ. (РТУ «МИРЭА»), А.Н. Колкий, асп.;  
рук. Е.А. Климанов, д.т.н., проф. (ГНЦ РФ АО «НПО«Орион», Москва),  
науч.конс. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ P-I-N ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследована возможность применения двухслойной модели пленок оксида алюминия и оксида кремния, полученных методом катодного распыления мишени  $Al_2O_3$  и термическим окислением, соответственно, в технологии изготовления фоточувствительных элементов (ФЧЭ).

Исследование направлено на минимизацию значений темновых токов фоточувствительных площадок и охранного кольца, снижение шумов и повышение стабильности электрических параметров. Исследования проводились на пластинах высокоомного кремния диаметром 60 мм *p*-типа проводимости с удельным сопротивлением 20 кОм·см. Были изучены две партии по действующей модели ФЧЭ и две партии предлагаемой модели с двухслойным просветляющим покрытием.

В работе показано, что нанесение дополнительного диэлектрического покрытия в виде пленки  $Al_2O_3$  позволило уменьшить темновые токи фоточувствительных площадок и охранного кольца. Часть полученных результатов представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Топологический срез предлагаемой модели *p-i-n* фоточувствительного элемента: 1 — высокоомный кремний *p*-типа проводимости; 2 — фоточувствительные площадки; 3 — охранный пояс *n*<sup>+</sup>-типа проводимости; 4 — тыльный контактный слой *p*<sup>+</sup>-типа проводимости; 5 — двухслойные металлические контакты хром-золото; 6 — изолирующая и просветляющая пленка  $SiO_2$ ; 7 — дополнительное диэлектрическое покрытие в виде пленки  $Al_2O_3$

### Литература

1. **Ким А.С., Колкий А.Н.** Многоплощадочный кремниевый *p-i-n*-фоточувствительный элемент с двухслойной диэлектрической пленкой. Патент на полезную модель 205303 U1, 08.07.2021. Заявка № 2021106300 от 10.03.2021.
2. **R. Boidin, T. Halenkovič, V. Nazabal, L. Beneš, P. Němec.** Pulsed laser deposited alumina thin films, *Ceramics International* 42, 1177–1182 (2016).

*А.П. Соколова, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ПРЫГАЮЩИХ ПУЗЫРЕЙ» С ТВЕРДЫМИ МЕЗОСКОПИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ РАЗНОГО РАЗМЕРА**

В настоящее время в мире остро стоит проблема вторичной переработки мусора, так как растет количество мусорных свалок. В нашей стране вторичная переработка материалов на сегодняшний день становится приоритетной сферой деятельности для государственной политики. Данная проблема побуждает изобретать новые способы утилизации отходов производства и потребления. В последние десятилетия разные страны применяют многообразные методы для решения данной задачи, однако сводится все к изначальному сбору раздельного мусора: бумага, стекло, металлы, пластмассы и т.д. — и не решают проблему разделения уже существующих «смешанных» отходов.

Данная исследовательская работа посвящена анализу эффекта «прыгающих пузырей», его характерных режимов, стадий протекания, экспериментальному изучению динамики процессов прыгающего кипения, а также изучается возможность практического применения данного эффекта для разделения смесей мезоскопических частиц, и оценивается эффективность разделения.

В том числе будет проверена возможность применения «эффекта прыгающих пузырей» для флотационного разделения продуктов переработки раздельного сбора мусора в виде мезоскопических частиц, выполненных из одного материала разных размеров. Причем флотирование будет производиться в дистиллированной воде без каких-либо химических добавок в виде ПАВ.

Актуальность дальнейших исследований обоснована проблемами перспективных направлений сохранения и управления водными ресурсами.

### **Литература**

1. **Эльбуз Мустафа Али.** Исследование процессов тепломассообмена при испарении и кипении в простых и мезоскопических системах монодисперсных микросфер и мезотрубок; Издательство МЭИ, 2015.
2. **С.С. Кутателадзе.** Основы теории теплообмена; Издательство Атомиздат, 1979.
3. **Радченко И.В.** Молекулярная физика. — М., 1965.

**Направление IX**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**  
**Thermal power engineering**

---

**Руководитель направления:**  
Директор института тепловой  
и атомной энергетики НИУ «МЭИ»,  
д.т.н., член-корр. РАН  
Дедов Алексей Викторович

**Секция 44**  
**КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**  
**И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**  
**Boiler installations**  
**and environment protection**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Тупов Владимир Борисович*

*Секретарь секции: Мухаметов Айнур Булатович*



*Сюн Чуан, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ТЭС КИТАЯ**

В настоящее время оборудование ТЭС является одним из интенсивных источников шума как для территории предприятий, так и окружающего района. Тягодутьевые машины (ТДМ) в энергетике из-за их широкого применения являются часто основными источниками шума не только на территории предприятий, но и в окружающем ТЭС районе [1].

Различают три пути распространения шума ТДМ: от корпуса, воздухозабора дутьевого вентилятора, устья дымовой трубы (излучающих шум от дымососов). Последние два пути распространения шума, особенно из устья трубы, наиболее опасны для окружающего района. Это связано с тем, что шум, излучаемый с высоты, не снижается за счет естественных и искусственных наземных препятствий.

Целью настоящей работы является определение уровней звукового давления от ТДМ в зависимости от таких параметров, как тип ТДМ, его расход, напор, количество установленных машин, расстояния до жилого района и других факторов. Определены величины требуемого снижения от ТДМ ТЭС различной мощности.

Выполнены расчеты уровней звукового давления в соответствии с ГОСТ 31295.2–2005 (ИСО 9613–2:1993). «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчёта» от ТДМ в окружающем районе на различных расстояниях от него от указанных параметров. Показано, что превышение санитарных норм может составлять десятки децибел.

Для обеспечения санитарных норм рассмотрены типовые мероприятия по снижению шума от ТДМ на примере ТЭС Китая. Для этой цели используются различные методы. Наиболее широко используются глушители, особенно абсорбционного типа [2]. Показано, что абсорбционные глушители имеют необходимые характеристики для обеспечения акустической безопасности населения ближайших жилых районов [3].

### **Литература**

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б., Тупов Б.В.** Снижение шума тягодутьевых машин абсорбционными глушителями // Электрические станции, № 4, 2017, с. 56–60.
3. **Тупов В.Б.** Метод обоснования технических решений для многоступенчатых пластинчатых глушителей энергетических газозовдухопроводов // Теплоэнергетика. 2013. № 8. С. 53–56.

*В.В. Тишков, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ ПГУ-220**

Парогазовые установки (ПГУ) — относительно новый тип оборудования для электростанций. Преимуществами ПГУ является высокий КПД установки, который составляет 58-64%, короткие сроки возведения, низкая стоимость единицы установленной мощности, компактность установки и экологичность. Однако, стоит отметить, что эксплуатация ПГУ связана с высоким излучением шума, поэтому снижение шума от таких установок на сегодняшний день является актуальной задачей.

Основными источниками шума при эксплуатации парогазовой установки являются воздухозаборные устройства, выхлопной тракт, вентиляторные градирни и другое оборудование [1]. Шум от оборудования ПГУ может существенно влиять на превышение санитарных норм по фактору шума на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) тепловой электростанции (ТЭС) [2]. В настоящей работе уделено основное внимание шумовым характеристикам ПГУ на примере оборудования ПГУ-220, которые используются на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) ПАО «МОСЭНЕРГО». Выполнены акустические расчеты с использованием специальной программы АРМ «Акустика» при разном количестве и режиме работы оборудования. В результате расчётов определено требуемое снижение уровня шума на различных расстояниях от рассматриваемых источников. Определено, что при штатных условиях эксплуатации оборудование ПГУ является интенсивным источником шума для окружающего района.

Для безопасной эксплуатации оборудования ПГУ необходима разработка мероприятий по снижению шума, которая основывается на основе правильного расчета необходимого требуемого снижения. Шум от воздухозабора и выхлопного тракта являются существенными и для его снижения необходима разработка специальных устройств — диссипативных шумоглушителей.

\*Работа выполнена в рамках проекта «Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляторных градирен» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

### **Литература**

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов V.B., Taratorin A.A.**, Influence of replacement of steam power plant on combined cycle gas equipment on the sanitary protection zone by noise factor. 1683 Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 1683 (2020) 042070.

*А.А. Быканов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **СНИЖЕНИЕ ШУМА ГТЭ-160 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИИ**

В настоящее время ГТУ-ТЭЦ находят все более широкое применение как источники тепловой и электрической энергии для жителей окружающих районов и часто располагаются в непосредственной близости от жилых домов. При этом газотурбинные установки являются одним из самых мощных источников постоянного шума для окружающей среды, что делает невозможным их применение на объектах теплоэнергетики без внедрения специальных мер по шумоглушению [1]. При этом на шум от ГТУ влияют многие факторы [2].

В настоящей работе на примере ГТУ-160 рассмотрено влияние расположения станции на уровень шума от нее.

Для этого была создана в программе АРМ «Акустика» математическая модель станции. Проведенные расчеты в этой программе позволили построить изолинии уровней звукового давления для различных среднегеометрических частот от 63 до 8000 Гц вокруг станции. Построенные изолинии уровней звукового давления позволили определить требуемые снижения уровня шума в зависимости от расположения станции по отношению к жилому району. Показано, что здания станции и в окружающем районе могут существенно снижать шум от воздухозаборов ГТУ, при этом шум от срезов дымовых труб не снижается от зданий и сооружений станции. Поэтому основным источником шума ГТ-160 для окружающего района является выхлопной тракт. Размещение жилого района на достаточном расстоянии от ГТУ-ТЭЦ позволяет обеспечить соблюдение санитарных норм.

Выполненный обзор возможных вариантов по снижению шума от ГТ-160 показал, что глушители диссипативного типа эффективно снижают уровень шума от выхлопного и воздухозаборного трактов. После применения диссипативных глушителей уровень шума от ГТ-160 соответствует санитарным нормам на границе санитарно-защитной зоны станции.

### **Литература**

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов, V.B., Taratorin, A.A.** Features of noise radiation from gas turbines (2020) Journal of Physics: Conference Series, 1683 (4), статья № 042089.

*А.Р. Васильев, студ.; рук. Ю.В. Гусева, доц., к.ф.-м.н. (ВФ МЭИ)*

## **ТЕХНОЛОГИИ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

При внедрении организационно-технических мероприятий по повышению эффективности использования органического топлива на тепловых электрических станциях с целью экономичной выработки электрической и тепловой энергии необходимо учитывать влияние объектов теплоэнергетики на окружающую среду. В последнее время с точки зрения роста конкурентоспособности отечественной энергетики помимо основных маркерных вредных (загрязняющих) веществ особое внимание уделяется контролю выбросов парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ) [1]. Следует отметить, что наиболее реальными в части внедрения на действующих энергетических объектах являются технологии ограничения выбросов углекислого газа на стадии охлаждения продуктов сгорания. Автором выполнено сравнение различных технологий (вариантов) ограничения выбросов парниковых газов в атмосферу с целью возможности их внедрения на отечественных энергетических предприятиях.

Результаты исследования показали, что технология выделения  $\text{CO}_2$  из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле и метод экологически чистого выделения  $\text{CO}_2$  с помощью ферментов имеют преимущества перед технологией мембранного захвата  $\text{CO}_2$  до сжигания органического топлива. Выявлено, что при реализации варианта 3 достигается снижение затрат на улавливание и захоронение углерода на 10–15% по сравнению с адсорбционными и абсорбционными методами. При этом повышение скорости выделения  $\text{CO}_2$  из дымовых газов с применением мембран, основанных на ферментах, более чем в 100 раз, по сравнению с типовыми полимерными мембранами, и относительно низкие затраты на эксплуатацию систем очистки газов являются основными преимуществами для практического внедрения технологии выделения  $\text{CO}_2$  из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле замкнутого производства.

### **Литература**

1. **Федеральный закон РФ** от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_329955/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/) (дата обращения 13.10.2022).

Д.А. Павлов, студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ШУМА НА ПОВОРОТАХ ГАЗОВОЗДУШНЫХ ТРАКТАХ КОТЛОВ

Одним из постоянных источников шума, воздействующим на селитебную территорию от ТЭС, являются газозвоздушные (ГВТ) тракты, через которые шум излучается от тягодутьевых машин, газовых турбин или связан с процессами горения в котлах [1].

Для выполнения акустических расчетов необходимо знать общее снижение шума на участке от источника до места излучения в окружающую среду, которое складывается из затухания на прямых участках и поворотах. На поворотах снижение звуковой энергии происходит из-за отражения её части обратно в канал. В литературе [1, 2] не приводится частотной зависимости затухания шума для различных углов поворота. Цель работы заключалась в моделировании в программе Ansys затухания шума на поворотах ГВТ в зависимости от угла поворота, размеров канала для средних геометрических частот 31,5–8000 Гц, а также сравнение с известными данными [2]. В ходе расчета было определено снижение шума на поворотах 90°, 120°, 135°, 150° для коробов ГВТ квадратного сечения со сторонами 600 (рис. 1) и 1000 мм (рис. 2). Из рис. 1 и 2 видно, что наибольшее затухание для короба со стороной 1000 мм в диапазоне частот от 31,5–1000 Гц наблюдается при угле поворота 90°, для частот выше 1000 Гц при угле 120°; для короба со стороной 600 мм наибольшее затухание при угле 90° на частотах 31,5–250 Гц и 2000 Гц, на остальных частотах при угле 120°.

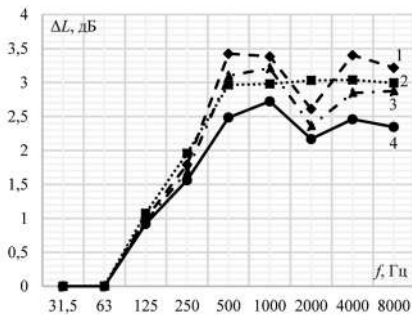


Рис. 1. Затухание шума на повороте для сечения 600 мм  
1 — 120°; 2 — 90°; 3 — 135°; 4 — 150°

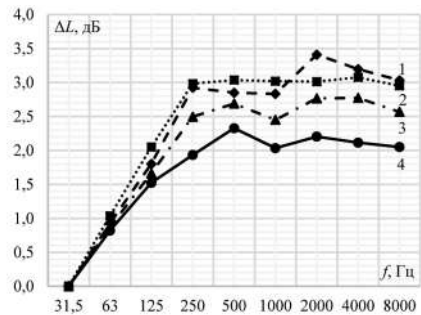


Рис. 2. Затухание шума на повороте для сечения 1000 мм  
1 — 120°; 2 — 90°; 3 — 135°; 4 — 150°

### Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **ASHRAE, HVAC Applications, GA** // American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta. — 2015.

*А.Б. Ондар, асп. (ОАО «ВТИ»), Н.А. Татарникова, студ. (НИУ «МЭИ»);  
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н., зав. отд. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН**

ТЭС, как и другие промышленные предприятия, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. ТЭС является одним из источников вредных факторов, влияющего на здоровье человека и окружающую среду, в частности шум от оборудования, к которым относятся и градирни. Градирни, в разрезе негативного воздействия, рассматривают в двух аспектах — как источник шума и как источник выбросов аэрозолей вместе с выходящим из нее насыщенным воздухом в атмосферу.

К основным источникам шума работающей вентиляторной градирни следует отнести:

- 1) точка входа воздуха — это звук охлажденной воды, падающей в водосборный бассейн;
- 2) точка выхода воздуха — звук вентиляторной установки.

УЗД вентиляторной установки определяется, исходя из скорости вращения рабочего колеса, формы и количества его лопастей, формы опорных и прочих подшипников, шума электродвигателя и привода. К дополнительным источникам шума относится вибрация элементов градирни. Уровень дополнительных шумов с увеличением срока службы увеличивается.

НИИ «ВОДГЕО» провел обследование и измерение уровня шума различных вентиляторных градирен различной мощности и габаритных размеров. На практике определено, что преобладание шума падающей воды зависит от размера секции градирни. Чем меньше размер секции, тем меньше УЗД (преобладать будет звук вентилятора (площадью орошения до 18 м<sup>2</sup>)) [1].

Основные мероприятия по снижению УЗД:

- уменьшение вибрации корпуса градирни;
- уменьшение скорости вращения лопастей вентилятора;
- добавление звуковой стены по периметру диффузора и использование диффузоров большей высоты;
- использование глушителей воды и шумопоглощающих перегородок (экранирование) на воздухоходных окнах.

### **Литература**

1. **Гладков В.А., Арефьев Ю.И., Котляр Р.Г., Цыгановская Л.Х.** ВНИИ ВОДГЕО Пособие по проектированию градирен 20.03.1985 г. № 27.

*Н.Е. Фоменко, асп.; рук. В.Б. Прохоров к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ ИНВЕРТНОЙ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРИГИНАЛЬНОЙ УПРОЩЕННОЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ**

Моделирование аэродинамики и процессов горения топлива в топочных камерах энергетических котлов необходимо на этапе проектирования и при проведении модернизации котельных агрегатов и особенно актуально при работе со схемами сжигания с прямоточными горелками, так как они являются горелками коллективного действия. При разработке (модернизации) схемы сжигания с прямоточными горелками рассматривается и анализируется множество вариантов расположения горелок и воздушных сопл для выявления оптимального. Разработанная авторами оригинальная упрощенная численная модель для оценки аэродинамики топки [1] позволяет с небольшими временными затратами и вычислительными мощностями смоделировать аэродинамику большого количества схем.

Для инвертной топочной камеры, являющейся частью М-образного котла, генерирующего пар сверхкритических параметров, выполнена оптимизация компоновки горелок и сопл. Рассмотрено влияние на аэродинамику следующих факторов: распределение избытков воздуха по горелкам и соплам; величины углов и уровней расположения горелок и сопл; наличие рассекателей на горелках верхнего и нижнего ярусов; положение условного вихря, образованного струями горелок и сопл нижнего яруса.

Результатом оптимизации топочной аэродинамики с помощью оригинальной упрощенной численной модели для первичной оценки аэродинамики топки энергетических котлов являются формулировки основных рекомендаций по расположению прямоточных горелок и сопл для инвертных топок, а также рекомендуемая схема расположения горелок и сопл, которая в дальнейшем будет смоделирована с помощью полноценного расчета в ANSYS с процессами горения.

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-19-00722, <https://rscf.ru/project/22-19-00722/>)

### **Литература**

1. **Prokhorov V.B., Fomenko N.E., Fomenko M.V.** Development of a simplified methodology for furnace aerodynamics with vortex combustion of organic fuel modeling // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2021. — Т. 2088. — №. 1. — С. 012016.

*В.Д. Апаров, суд.; С.Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ШЛАКОВАНИЯ РОССИЙСКИХ УГЛЕЙ

В настоящее время при использовании на ТЭС в качестве топлива угля возникает необходимость в переводе котлов на непроектный вид топлива. Это связано с ухудшением качества угля, сокращения поставок и ужесточения экологических требований. При этом под непроектным видом топлива рассматривается уголь, на который не был спроектирован или реконструирован котел, а также не прошедший промышленного или опытного сжигания на ТЭС. При переводе котлов на непроектный уголь необходимо решить основные проблемы, а именно шлакование топочных экранов и поверхностей нагрева, загрязнение конвективных поверхностей нагрева, неустойчивость горения, изменение режимов работы систем пылеприготовления.

В России применяется методика на основе температуры шлакования, где угли при температуре меньше 1050°C считаются шлакующими [1]. Склонность угля к образованию прочих отложений определяется по 4-м индексам: железистому, активно щелочному, сульфатно-кальциевому и общему.

В работе был рассмотрен новый метод оценки склонности угля к шлакованию, основанный на расчёте индекса шлакования. Формула для расчёта индекса шлакования (ИШ) (1) [2]. Логарифм вязкости  $\log(\mu)$  рассчитывается по модели вязкости Вагга — Фарадея (2).

$$\text{ИШ} = A^{\text{пр}} / \log(\mu) \quad (1)$$

где  $A^{\text{пр}}$  — приведенная зольность;

$$\log(\mu) = \frac{m \cdot 10^7}{(ST - 150)^2} + c \quad (2)$$

где  $m, c$  — рассчитываемый эмпирический коэффициент;  $ST$  — температура размягчения частичек золы.

Были произведены расчёты для ряда Российских углей различных месторождений и составлен ранжированный список по ИШ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 22-19-00722, <https://rscf.ru/project/22-19-00722/>

### Литература

1. **Алехнович А.Н.** Шлакование пылеуольных энергетических котлов. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2013. — 112 с.: ил. [Библиотечка электротехники, приложение к журналу «Энегетика»; Вып. 8 (176)].
2. **M.U. Degereji, D.B. Ingham, L. Ma, M. Pourkashanian, A. Williams.** Numerical assessment of coals/bends slagging potential in pulverized coal boilers / Centre for Computational Fluid Dynamics Energy Technology and Innovation Initiative (ETII), Faculty of Engineering, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK.



*М.К. Воронкова, студ.; рук. В.А. Поздеев,  
ст. преп., Д.В. Логинов, к.ф.-м.н., доц. (ПетрГУ, Петрозаводск)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДЫМОСОСА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ДОД-28,5ГМ**

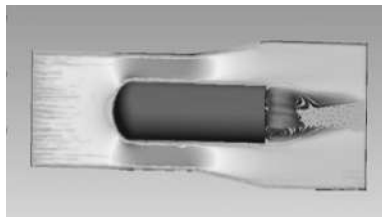
В работе проведено исследование явления донного сопротивления, возникающего за срезом внутреннего корпуса дымососа, представляющее из себя вихревые зоны пониженного давления. Вследствие данного явления увеличивается аэродинамическое сопротивление дымососа и потребляемая им электрическая мощность. [1] Объектом исследования являлся дымосос ДОД-28,5ГМ, установленный на котле БКЗ-420-140НГМ4 Петрозаводской ТЭЦ.

Предложено несколько вариантов аэродинамических обтекателей различной формы и геометрии: в форме эллипсоида вращения, конуса и укороченного эллипсоида вращения.

Разработана и реализована методика оценки эффективности от внедрения аэродинамического обтекателя. Выполнен аэродинамический расчет газового тракта котла на различных нагрузках с определением секундного объема продуктов сгорания, математическое моделирование газодинамического процесса обтекания внутреннего корпуса дымососа с аэродинамическим обтекателем и без него [2]. Моделирование обтекателей различной формы было выполнено в программном комплексе ANSYS FLUENT.

В результате математического моделирования были определены коэффициенты аэродинамического сопротивления обтекателей различной формы. На основании полученных значений коэффициентов аэродинамического сопротивления для установки на дымососе ДОД-28,5ГМ был рекомендован обтекатель в форме укороченного эллипсоида вращения.

Для подтверждения результатов математического моделирования в настоящее время изготавливается натурный стенд. Результаты натурных испытаний будут получены после января 2023 года.



**Рис. 1.** Результаты мат. моделирования

### **Литература**

1. **Краснов Н.Ф.** Аэродинамика тел вращения: учебное пособие для высших учебных заведений. М.: Гос. изд-во оборон. пром-сти, 1958.
2. **Мочан С.И.** Аэродинамический расчет котельных установок: нормативный метод. Ленинград: Энергия, 1977.

*Т.С. Ковалева, студент; Н.А. Озеров, к.т.н., доц.  
(СГТУ, г. Саратов)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ РАЗЛИЧНОГО ТОПЛИВА**

В современном мире большое внимание уделяется состоянию окружающей среды и ее защите. Котлы ТЭС являются главным источником вредных выбросов в атмосферу, таких как оксиды серы, оксиды азота и др., практически при всех видах сжигаемого топлива.

Превышение выбросов этих загрязнителей над пороговыми значениями, установленными действующими природоохранными нормативами, приводит к ухудшению экологической обстановки крупных городов и промышленных центров, что имеет ряд негативных последствий для человека.

В настоящее время существует огромное количество технологических мероприятий по снижению концентрации оксида азота в уходящих газах котлов. Снижение образования термических NOx достигается путем воздействия на максимальную температуру горения [1]. Это можно осуществить вводом рециркуляционных газов [2], пара и влаги [1] в зону горения, а также многоступенчатым сжиганием [1].

Снижение образования «топливных» NOx можно достичь путем установки малотоксичных горелок, нестехиометрическим сжиганием топлива [1]. Произведя расчет выбросов оксида азота для котла ДЕ-25-14 ГМ-О по методике [3], было выявлено, что наиболее эффективным методом является ввод рециркулируемых газов в дутьевой воздух и вокруг амбразуры горелки со скоростью равной скорости воздуха.

### **Литература**

1. **Губарева, В.В.** Уменьшение выбросов оксида азота в энергетических установках / В.В. Губарева, В.О. Лисняк // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Алушта, 03–07 июня 2019 года. — Алушта: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. — С. 103–107.
2. **М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р. Г. Сунгатуллин [и др.]** Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2017. — № 1(39). — С. 180–187.
3. **В.И. Бабий, Ю.П. Енякин, В.Р. Котлер. Ю.М. Усман [и др.]** РД. 34.02.304-95 «Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций».

*А.Б. Мухаметов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕПЯТСТВИЙ И ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СНИЖЕНИЕ ШУМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Одним из основных источников шума в городах являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), работа которых может быть связана с повышенным шумоизлучением и превышением санитарных норм по фактору шума на территории жилой застройки. Перспективным направлением снижения шума энергетического оборудования является использование искусственных препятствий (акустических экранов) на территории тепловой электрической станции (ТЭС) (здания и другие вспомогательные сооружения). Использование препятствий позволяет снизить шум на территории жилой застройки без дополнительных затрат на мероприятия по снижению шума.

В настоящей работе проанализировано взаимное влияние геометрических характеристик акустического экрана на примере здания на территории ТЭС на его акустическую эффективность. В качестве источника шума выбрана сухая вентиляционная градирня, которая не является точечным источником [1]. Показано влияние поперечного и продольного расположения здания относительно источника шума на уровень звука в расчётной точке, расположенной на границе санитарно-защитной зоны ТЭС. Определено, что использование поперечного расположения сооружения вследствие его высоких экранирующих свойств позволяет снизить уровень звука в расчётной точке примерно на 9–11 дБА по сравнению с продольным расположением. Рассмотрено взаимное влияние высоты, длины и ширины препятствия на снижение шума энергетического оборудования. Приведены данные, позволяющие определить высоту и длину экрана для обеспечения требуемого снижения уровня звука от источника шума. Отдельно в работе исследовано снижение уровня шума за счет различного расположения препятствий в виде жилых домов на территории санитарно-защитной зоны ТЭС.

\*Работа выполнена в рамках проекта «Повышение эффективности мер по снижению шума вентиляционных градирен» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.».

### **Литература**

1. **Tupov V.B., Mukhametov A.B.** Features of Noise Emission from Various Types of Cooling Towers. THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE DYNAMICS AND VIBROACOUSTICS OF MACHINES (DVM-2022), Samara University, 21–23 September 2022, Samara, Russia.

*А.М. Кубасова студ.;*  
*рук. Е.В. Зайцева к.т.н., доц. (ИГЭУ им. Ленина, Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОТЛОВ ОТ КОРРОЗИИ**

Одной из проблем, стоящей перед энергетиками, является защита теплоэнергетического оборудования от коррозии. Ущерб, связанный именно с атмосферной коррозией, представляет наибольшую опасность для оборудования из-за образования местных повреждений металла: язв, трещин на поверхностях, испытывающих максимальные нагрузки.

Одним из перспективных методов борьбы с атмосферной коррозией, является метод, связанный с применением контактных ингибиторов. Наибольшее распространение получили ингибиторы коррозии «Эмикор» и «Ликкор Контур».

«Эмикор» -это 20% водная эмульсия октадециламина. Жидкая форма ингибитора позволяет обеспечить создание необходимых технологических условий для дозировки, поддержания равномерного распределения по консервируемым поверхностям и формирование защитной пленки при более низких температурах рабочей среды, чем стандартная твердая форма октадециламина [1]. Применение ингибитора «Эмикор» с 2006 года на объектах энергетики подтвердило его эффективность и большую технологичность, он разрабатывался как отечественный, более дешевый аналог ингибитора ODACON (производство Германия). В 2016 г. АО «Фирма ОРГРЭС» при участии наших специалистов выпустила «Методические указания по консервации реагентом «Эмикор» тепломеханического оборудования тепловых электростанций».

«Ликкор Контур» — это ингибированная концентрированная присадка, которая защищает черные и цветные металлы от коррозии и солеотложений.

При соприкосновении раствора водного ингибитора с поверхностью металла, он образует молекулярную плёнку, замедляющую окислительные процессы, не ухудшая действия других водорастворимых добавок и присадок. Ликкор Контур разбавляют в определённых пропорциях с водой, либо распыляют на поверхность металла прямым способом. «Ликкор Контур» разработан в 2017 году как аналог американского ингибитора VPCI-649.

Таким образом, оба ингибитора хорошо зарекомендовали себя в Российской энергетике. Основным преимуществом является простота использования.

### **Литература**

1. **Г.А. Филлипов, В.А. Михайлов, Е.В. Величко и др.** Применение пленкообразующих аминов для защиты от коррозии оборудования пароводяного тракта энергоблока ПГУ-450. Тяжелое машиностроение № 4, 2007. 14–17 с.

*И.Б. Капланович, асп.; М.Ю. Горин, инж.;  
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **ОТБОР ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ pH КОНДЕНСАТА ВОДЯНЫХ ПАРОВ**

Для энергетики России актуальными вопросами являются необходимость повышения экологической и топливной эффективности. Особенно указанные вопросы актуальны для ТЭЦ, введенных в эксплуатацию в 50–60-х годах.

Одним из способов повышения топливной эффективности является применение утилизатора явной и скрытой теплоты дымовых газов. В процессе высвобождения скрытой теплоты уходящих газов в качестве побочного продукта выделяется водяной конденсат, который после очистки может быть использован для подпитки ТЭС. При этом топливная эффективность по расчётам составляет величину до 1,6%.

В процессе выбора материалов для изготовления утилизатора дымовых газов и системы очистки, возникла необходимость в определении pH получаемого конденсата. В результате чего была спроектирована, изготовлена и налажена установка для отбора и охлаждения дымовых газов ниже температуры точки росы. Для отбора дымовых газов использовался газоанализатор, к которому, как промежуточное звено между зондом и самим прибором, был подключён оребренный воздушный теплообменник, после которого устанавливалась ёмкость во избежание попадания конденсата в газоанализатор. Отбор дымовых газов осуществлялся из газохода парового котла. Для увеличения коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха производилось орошение дистиллированной водой. Водородный показатель pH определялся визуальным способом с использованием лакмусовой бумаги. В среднем величина водородного показателя pH составила от 4,2 до 4,7 ед.

В ходе проведения работ, было установлено, что данная конструкция показывает удовлетворительные результаты. Однако стоит отметить, что для улучшения процесса охлаждения дымовых газов в теплообменнике, необходимо использовать алюминиевое оребрение, а отбор осуществлять в зимний период времени, когда паровые котлы работают на максимальной нагрузке, а разница температур между дымовыми газами и окружающей средой максимальна.

### **Литература**

1. **Татарникова Н.А., Процкив В.Р., Такташев Р.Н.** Исследование охлаждающей способности башенных испарительных градирен БГ-2100 и БГ-10000 // Радиотехника, электротехника и энергетика. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2022. — С. 720.

## **Секция 45**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЭС И АЭС Water and fuel technologies for thermal power plants (TPP) and nuclear power plants (NPP)**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Егошина Ольга Вадимовна*

*Секретарь секции: к.т.н. Большакова Наталия Алексеевна*

*А.М. Латыпов, И.И. Хрушков, аспиранты;  
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **ПРОБЛЕМА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАСТАНИЙ УЗЛОВ ГТС ТЭС, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПРЯМОТОЧНУЮ СИСТЕМУ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

На сегодняшний день проблема биологического обрастания узлов гидротехнических сооружений (ГТС) и систем технического водоснабжения (СТВ) на объектах тепловой и атомной энергетики носит глобальный характер с обширной географической локацией.

Ухудшения условий теплопередачи и уменьшение расходов охлаждающей воды из-за биообрастаний приводят к снижению эффекта охлаждения, нарушению технологических режимов работы теплообменных аппаратов, и в конечном итоге, к снижению надежности работы энергоблоков и значительным производственным потерям [1].

Существующими методами борьбы с биообрастаниями являются: применение механической очистки сырой воды; термическая обработка узлов СТВ горячей водой; использование биоцидных и безбиоцидных защитных покрытий и материалов; применение катодной защиты; биоцидная обработка сырой воды [2].

Надёжного способа защиты, позволяющего напрямую тиражировать тот или иной способ на все объекты электроэнергетики, расположенных в разных климатических условиях, не существует ввиду ограничений по режимам функционирования электростанций и высокой скорости адаптации биоорганизмов к изменяющимся условиям среды. Поэтому для успешной борьбы с биологическими обрастаниями необходим комплексный подход, разрабатываемый индивидуально для каждого объекта исследования.

Авторами тезиса были проведены комплексные исследования состава, условий формирования и основных причин возникновения биообрастаний металлических поверхностей трубопроводов сырой воды, а также разработаны технические решения предотвращения их образования в реальных условиях эксплуатации на одном из объектов тепловой энергетики, расположенном на территории Южного Урала.

### **Литература**

1. **Болеев, А.А.** Предотвращение биологического обрастания металлических конструкций оголовка водозаборных сооружений. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук, 2013.
2. **МР 1.1.4.04.1542-2019.** Применение методов борьбы с биопомехами в системах циркуляционного и технического водоснабжения атомных станций. Методические рекомендации. АО «Концерн Росэнергоатом», 2019.

*Е.Э. Новикова, студ.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗУЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ СОРБЦИИ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АМИНОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТАХ НА ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

При использовании комплексных реагентов, содержащих плёнкообразующий амин поверхности конструкционных материалов электростанций, образуется защитная плёнка. Эта плёнка обладает гидрофобными свойствами и препятствует контакту металлов (сталей и медь содержащих сплавов) с агрессивной средой. Образующаяся на поверхностях теплообмена защитная гидрофобная пленка изменяет тепловой поток, приводя к росту теплоотдачи, а снижение поверхностного натяжения жидкости улучшает гидродинамику потока, что повышает надежность и экономичность работы оборудования [1].

Одним из показателей, оценивающий наличие плёнки на поверхности металла, является удельная сорбция. Эти данные необходимы также для определения той концентрации реагента, которая оптимальна при коррекции водно-химического режима. Данные для оценки удельной сорбции плёнкообразующего амина, содержащегося в различных комплексных реагентах, применяющиеся в России, в настоящее время имеются для комплексного реагента хеламин марок BRW-150 и 90N Turbo.

Основная задача работы состояла в изучении сорбционных свойств новых марок комплексных реагентов KB-20, KB-30 и KB-33. Опыты по изучению удельной сорбции проводились на углеродистой стали при температуре 20-25°C при концентрации реагентов 8–10 мг/дм<sup>3</sup>.

Установлено, что удельная сорбция плёнкообразующего амина, содержащегося в растворе реагента KB-20, на поверхности углеродистой стали равнялась 0.301 мкг/см<sup>2</sup>, в растворе KB-30 — 0.229 мкг/см<sup>2</sup>, в растворе KB-33 — 0.200 мкг/см<sup>2</sup>. Полученные данные свидетельствуют, что при использовании указанных реагентов удельная сорбция на поверхности углеродистой стали зависит от состава используемого комплексного реагента. Таким образом при использовании указанных реагентов для коррекции водно-химического режима при температуре 25°C будет происходить образование защитной плёнки на поверхности углеродистой стали. [2].

### **Литература**

1. **Петрова Т.И., Воронов В.Н., Дяченко Ф.В.** Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций // Москва. Изд-во МЭИ. 2021.
2. **Petrova T.I.** Use of ODA at Russian Power Plants // PPSChem. 2017. V. 19. No. 2. P. 18–28.



А.Ю. Котенко, студ.; рук. И.С. Никитина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА ТЭС

Тепловые электрические станции, имеющие оборудование, не подходящее для очистки ливневого стока до качества, соответствующего современным требованиям, нуждаются в реконструкции данных систем очистки.

Полностью обновить систему очистки на ряде объектов технически невозможно (не хватает места для размещения нового оборудования). Предложен вариант с использованием мобильных модульных установок, которые могут быть применены в качестве системы очистки и доочистки воды от нефтепродуктов и грубодисперсных примесей до требуемого качества. Один из возможных вариантов схемы мобильной установки, представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Схема размещения мобильных установок

Оптимальным вариантом мобильной модульной системы применительно к ТЭС можно считать последовательность модулей механической фильтрации, коалесцентной и сорбционной очистки. На кафедре ТОТ «НИУ «МЭИ» проведены исследования материалов серии АПТ в сравнении с сорбентом БАУ, которые предлагаются к использованию в данной мобильной системе очистки [1].

Данные установки могут быть использованы также для решения нештатных ситуаций, таких как аварийные разливы нефтепродуктов или использоваться на период ремонтных работ системы очистки сточных вод от нефтепродуктов. В зависимости от ситуации мобильные установки можно подключать параллельно существующей системе очистки.

После очистки воды с помощью предлагаемой системы мобильных установок, вода может быть использована для нужд ТЭС — в системе оборотного охлаждения или на ВПУ.

### Литература

1. Ко Ко Маунг, Арефьева Е.А., Никитина И.С. Мобильная установка для очистки вод, загрязненных нефтепродуктами // Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов «Экология энергетики-2017». М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 20–21.

*М.Д. Фомичев, асп.;*  
*рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **АНАЛИЗ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ**

Традиционно контроль за работой градирен осуществляется путем сопоставления фактических температур охлажденной воды с расчетными, определенными по номограмме для среднемесячных или выборочных среднесуточных значений следующих показателей работы градирни, определенных при средних скоростях ветра, меньших 3 м/с:

- расход воды на градирню, м<sup>3</sup>/ч;
- перепад температур воды, °С;
- температура наружного воздуха по сухому термометру, °С;
- относительная влажность воздуха, %.

Целью исследования является анализ модельных показателей расчета температуры охлажденной воды по математической модели, представленной ранее в работе [1] и соответственно проверка адекватности разработанной модели.

Для проверки модели, были использованы нормативные данные в виде номограммы, разработанной компанией АО «Фирма ОРГРЭС» [2], базирующейся на балансовых испытаниях башенных градирен. На номограмме плотность орошения  $q$  и перепад температуры  $\Delta t$  представлены в единой характеристике охлаждающей мощности (тепловой нагрузке)  $q\Delta t$ .

Температура охлажденной воды по номограмме определяется согласно ключу:  $\theta \rightarrow \varphi \rightarrow q\Delta t \rightarrow t$ , где  $\theta$  — температура наружного воздуха, °С;  $\varphi$  — относительная влажность наружного воздуха, %;  $q\Delta t$  — удельная тепловая нагрузка, Мкал /м<sup>2</sup> ·ч;  $t$  — конечная температура охлажденной воды, °С.

Максимальное расхождение полученных согласно [1] расчетных и нормативных значений не превышает 1–2°С, что позволяет сделать вывод о применимости модели для решения инженерных задач в области башенных градирен.

### **Литература**

1. **В.П. Жуков, М.Д. Фомичев, В.Н. Виноградов, А.Е. Барочкин, А.Н. Беляков.** Моделирование и расчет процесса тепломассообмена в башенных градирнях систем оборотного охлаждения ТЭС и АЭС. // Вестник ИГЭУ. — 2022. — № 3. — С. 57–63.
2. Указания по нормированию показателей работы гидроохладителей в энергетике (РД 34.09.212): утверждено зам. начальника Главтехуправления Д.Я. Шамараковым 7.02.1980 г. — Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем. — Москва: Южтехэнерго, 1981. — 37 с.

*А.П. Михеев, студ.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЫНОСА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В РАБОЧУЮ СРЕДУ ВТОРОГО КОНТУРА АЭС**

Основными причинами снижения надёжности и теплопередачи парогенератора (ПГ) на АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР) являются коррозионные повреждения оборудования, связанные с высоким уровнем отложений на теплопередающих поверхностях, которые, в основном, состоят из железосодержащих соединений [1].

Анализ основных этапов процессов образования продуктов коррозии железа позволил установить, что на интенсивность образования отложений в ПГ существенно влияет тип водно-химического режима (ВХР) и используемые реагенты, корректирующие pH рабочей среды. Анализ литературных данных показал, что основное количество продуктов коррозии железа поступает в парогенератор из конденсатно-питательного тракта, минуя конденсатоочистку [2].

Одним из основных процессов, который приводит к коррозионным повреждениям, является эрозионно-коррозионный (ЭК) износ. В настоящее время разработана методика определения ЭК выноса продуктов коррозии железа [2], которая позволяет решить задачу определения скорости утонения металла в различных участках контура.

Цель данной работы, состояла в анализе влияния основных показателей качества теплоносителя на скорость коррозии стали и вынос продуктов коррозии железа с поверхности металла. Использованная модель позволила определить оптимальные характеристики качества теплоносителя и выбрать реагенты, позволяющие поддерживать условия при которых скорость коррозии минимальна.

Также в работе проведено изучение форм существования продуктов коррозии железа в пароводяном тракте, что позволит усовершенствовать расчётные модели, предложить пути оптимизации ВХР, повысить эффективность энергоблока и адекватность оценки различных мероприятий по снижению отложений в ПГ.

### **Литература**

1. **Тяпков В.Ф., Шарафутдинов Р.Б.** Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // Вестник Госатомнадзора России. — 2003. — № 4.
2. **Томаров Г.В., Шипков А.А.** Эрозионно-коррозионный вынос железосодержащих соединений — источник отложений в парогенераторах АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. — 2011. — № 3.

*И.А. Кокулин, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **МАТРИЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОБМЕНА В ИСПАРИТЕЛЯХ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ**

Одним из направлений реализации энерго- и ресурсосберегающих технологий является совершенствование систем термической подготовки добавочной воды для ТЭС и АЭС [1]. Особое место среди установок для термической водоподготовки занимают установки нового поколения испарителей мгновенного вскипания вертикального типа с возможной блочной компоновкой оборудования Exerger FVE [2]. Использование данной установки позволяет получать обессоленную, деаэрированную, подогретую воду, пригодную для питания энергетических котлов давлением 14 МПа. Сам метод требует значительно меньшего расхода тепловой энергии, капитальных и эксплуатационных затрат. Установки мгновенного испарения используют принцип вскипания перегретой воды при ее попадании в область пониженного давления. Ступень многоступенчатой испарительной установки мгновенного вскипания (МИУМВ) состоит из двух отсеков: грязного и чистого. Перегретая вода сначала поступает в грязный отсек, в область пониженного давления, где она частично испаряется. Образовавшийся при этом пар направляется в чистый отсек ступени для конденсации, которая реализуется за счет теплообмена с поступающей на очистку водой. Правильная организация процесса теплообмена в ступени позволяет использовать тепло конденсации пара для подогрева и испарение очищаемой воды. Совершенствование процесса теплообмена, направленное на уменьшение потерь тепла и влаги, является актуальной задачей, стоящей перед энергетикой и смежными отраслями промышленности. Цель исследований — моделирование теплообмена в многоступенчатой многопоточной испарительной установке с учетом согласования процессов испарения перегретой воды и конденсации пара.

В работе представлена матричная модель отдельной ступени, модель МИУ ВМ и выполнена проверка адекватности разработанных моделей.

### **Литература**

1. РД 34.40.506-85. Методические указания по эксплуатации испарительных установок поверхностного типа тепловых электростанций: разработано Урал ВТИ; утверждено Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем.
2. Применение технологии. Термообессоляющая установка Exerger (электронный ресурс) <https://storage.yandexcloud.net/startupvillage20/uploads/2e/f35387f3395c325a3bb9a919809c35.pdf> [дата доступа 08.11.2022]

*А.В. Низамаева, студ.;*  
*рук. С.М. Власов, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

## **ПРОБЛЕМА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ТЭЦ**

В процессе работы и эксплуатации систем технического водоснабжения ТЭС происходит постоянное накопление бактерий. Их образование и размножение приводят к сокращению срока службы, эффективности и надежности работы энергетического оборудования. На любой ТЭЦ в системе оборотного охлаждения очень важна стабилизация водно-химического режима. Благодаря тому, что охлаждающие системы зависят от испарения, примеси растворенные в охлаждаемой воде, концентрируются. За счёт повышения температуры воды, наличие питательных веществ и кислорода являются причинами постоянному размножению и накоплению биологических микроорганизмов в циркуляционной воде [1, 2].

Основные исследования пробы воды с СОО Казанской ТЭЦ-2 проводились на таком приборе, как люминометр. Люминометр обнаруживает АТФ при помощи осуществления химической реакции.

Люциферин/люцифераза + АТФ = люминесценция

Этот прибор отображает результаты в RLU (относительные световые единицы), что эквивалентно КОЕ. Чем большую интенсивность люминесценции зафиксировал люминометр, тем выше значение RLU. Количественное значение RLU сравнивают с программируемыми пользователями пороговыми значениями для определения общей качественной оценки: √ «чисто», ! «недостаточно чисто» или × «грязно». Люминометр показал такие результаты, что на выходе из конденсатора при температуре 25°C и pH=6,82, RLU=36 (грязно).

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что уровень биологического загрязнения в воде на выходе из конденсатора — самый высокий, причиной которого являются продукты химической очистки воды. Их вымывание осуществляется посредством циркуляции воды. Ввиду этого показания прибора превысили допустимые нормы.

### **Литература**

1. **Hammes F., Egli T.** Cytometric methods for measuring bacteria in water: advantages, pitfalls and applications. *Anal Bioanal Chem.* 2010. vol. 397, pp. 1083–1095.
2. **Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Власов С.М., Власова А.Ю.** Методы снижения бактериального загрязнения систем оборотного охлаждения ТЭЦ. *Теплоэнергетика.* 2015. № 7. С. 62.

*А.А. Хоменко, студ.; рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА**

На тепловых электрических станциях (ТЭС) рабочим телом цикла является вода. Из-за жестких требований по её качеству необходимо использовать водо-подготовку.

Для этих целей в последнее время стали активно использоваться мембранные технологии разделения. Одним из часто применяемых методов является обратный осмос (ОО), основанный на прохождении исходного потока через полупроницаемую мембрану, в результате чего образуются два потока — концентрат с повышенным содержанием по сравнению с исходным и обессоленный пермеат [1].

При обучении студентов по направлению «Технология воды и топлива в энергетике» важны не только лекционные занятия с теоретическими знаниями, но и лабораторные. Поэтому увеличение банка лабораторных работ, моделирующих различные схемы решений установок, поможет лучше разобраться в изучаемом материале и накопить опыт, который будет полезен при работе будущих специалистов [2].

Цель работы — разработка лабораторной работы, при выполнении которой в будущем студент сможет изучить различные схемы подключения мембранных элементов обратноосмотической установки, характеристики её работы и зависимости этих характеристик от выбранной схемы подключения и качества исходной воды. Научная новизна заключается в проведении экспериментальных исследований реализуемости схем подключения. В разработанной лабораторной работе возможно изучить характеристики мембранных элементов и зависимость качества очистки воды от их подключения на одной установке.

Установка, на которой будет проходить лабораторная работа, представляет собой каркасную раму с закрепленными на ней тремя мембранными элементами с возможностью гибкого соединения между собой в различных вариантах, электрическим шкафом, насосом высокого давления, манометрами, ротаметрами и различными клапанами и вентилями.

### **Литература**

1. **Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А.** Водоподготовка в энергетике: учебник. М.: Издательство МЭИ, 2021.
2. **Маковкина Л.Н., Сорокина Е.И., Сыроежкина Д.В.** Значимость лабораторно-практических работ в учебном процессе // Педагогика сегодня: проблемы и решения: материалы III Междунар. науч. конф. — Казань: Молодой ученый, 2018.

*П.С. Аксёнов, И.С. Солонько, студенты;  
рук-ли И.А. Бураков, к.т.н., доц.;  
Ю.А. Морыганова, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПРОМЫВОЧНОЙ ВОДЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ КОНЦЕНТРАТА ОБОГАЩЁННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УГЛЯ**

Процессы обогащения энергетических углей включают предварительные, основные и вспомогательные процессы. В качестве предварительных процессов используют операции, направленные на уменьшение размера исходного угля, а именно: дробление, грохочение, измельчение и классификация [1]. В качестве вспомогательных процессов применяют процессы промывки и осушки [2]. Осушка предназначена для удаления влаги из концентрата обогащённого угля. Промывка направлена на удаление минеральных частиц, попавших в концентрат угля из тяжёлой среды. В промышленности в качестве тяжёлой среды для гравитационных тяжёлоосредных сепараторов применяют магнетитовую и водопесочную суспензии. Таким образом, процесс вспомогательной промывки направлен на удаление из концентрата обогащённого угля частиц магнетита и песка, которые при определении зольности рассматриваются в качестве минеральных негорючих примесей.

Для нового вида тяжёлой среды подземных природных хлоридных натриевых рассолов [2] и для сточных вод Na-катионитных фильтров, предложенных в качестве тяжёлой среды для корытных сепараторов в [3], авторами представленного доклада была изучена эффективность применения вспомогательной промывки для ряда энергетических углей бурой и каменной степени углификации, подвергшихся процессами обогащения с использованием в качестве тяжёлой среды природных подземных хлоридных натриевых рассолов и стоков Na-катионитного фильтра.

Жесткость промывочной воды не превышала 9 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Крупность концентрата варьировалась от 250 мкм до 10 мм. Показатели зольности определялись согласно [4]. Сокращение зольности от использования промывки составило 0,5–1,92%.

### **Литература**

1. **Авдохин В.М.** Обогащение углей // Учебник для вузов в 2 т. М.: Издательство Горная книга, 2012. Т. 1.
2. **Burakov I.A., Burakov A.Y., Nikitina I.S., Aung H.N., Ye V.A., Anufrieva E.A., Bragina N.A.** Application of the underground natural brines for energy coal enrichment // IOP Conf. Series: Journal Of Physics: Conf. Series, 1683 (2020) 042047.
3. **Бураков И.А., Бураков А.Ю., Никитина И.С., Аунг К.М.** Применение сточных вод Na-катионитных фильтров для обогащения энергетических углей // Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС. Цели и задачи: сб. докл. IX Международная научно-техническая конференция. М.: ОАО «ВТИ», 2022. с. 11–16.

О.А. Петрова, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОДА НА ПОГРЕШНОСТЬ СПОСОБА ПРИВЕДЕНИЯ pH К 25°C ПРИ ИЗМЕРЕНИИ pH В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Для измерения водородного показателя в воде используются приборы, называемые рН-метрами. В этих приборах применяется потенциометрический метод, при котором устанавливается связь активной концентрации ионов водорода с равновесным потенциалом на поверхности электрода. В конструкции рН-метра используют систему электродов, где один электрод — измерительный, а второй — электрод сравнения. Благодаря техническому прогрессу стало возможным объединение двух электродов в один корпус — комбинированный электрод [1].

Колебания температуры исследуемой среды дают большую ошибку в измерениях рН-метра. Чтобы исключить влияние температуры на показания рН-метра измерения стараются проводить при 25°C или же пользуются методами приведения значения рН к 25°C: эмпирические формулы, построение номограмм, использование рН-метров с алгоритмом приведения к 25°C. Эмпирическая формула дает наибольшую погрешность, а алгоритм, встроенный в прибор, и использование графической зависимости имеют минимальную погрешность [2].

В данной работе определение влияния конструкции электрода рН-метра на погрешность приведения рН к 25°C в условиях повышенных температур проведено экспериментальным путем: измеряется рН раствора при 25°C при использовании электродов разных конструкций, затем опыт проводился в условиях повышенных температур и было определено влияние конструкции электродов на точность измерений рН-метра: большую погрешность алгоритма приведения прибора дают отдельные электроды (до 0,15 ед. рН при допустимой погрешности  $\pm 0,05$  ед. рН), комбинированный же электрод дает минимальную погрешность (0,01 ед. рН).

### **Литература**

1. Долбикова Н.С., Захарова Л.М., Кузнецова А.В. Метрология и теплотехнические измерения»: учебник / Издательство МЭИ. 2021.
2. Егошина О.В., Яровой В.О., Назаренко М.П., Табаков И.А. Исследование систем дозирования корректирующих реагентов с применением автоматических анализаторов химического контроля. Сборник лабораторных работ: учеб. пособие / Издательство МЭИ, 2016.



*С.С. Костин, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **ВЛИЯНИЕ ТИПА ДОЗИРУЕМОГО РЕАГЕНТА НА ПОГРЕШНОСТЬ СПОСОБА ПРИВЕДЕНИЯ К 25°С ПРИ ИЗМЕРЕНИИ pH В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Для снижения интенсивности коррозионных эффектов в конденсатно-питательный тракт и барабаны котлов дозируются различные реагенты, цель которых создать пленку магнетита на поверхности металла. Одним из самых распространенных реагентов в РФ является аммиак, а для барабанных котлов хорошим решением является дозирование комплексных соединений, в частности — хеламина [1].

Основным критерием качества ведения водно-химического режима является pH, по которому определяют активную концентрацию ионов водорода. Для его измерения используются специальные приборы — pH-метры. Экспериментально доказано, что на показания данного прибора могут влиять различные факторы, основным из которых является температура [2]. Для минимизации влияния данного фактора проводятся измерения при стабильной температуре пробы, равной 25°С. Однако, температура пробы ввиду недостаточного охлаждения может достигать более высоких значений, поэтому для приведения значений pH к 25°С применяют несколько методов: по эмпирической формуле [2] и по номограмме [3], а более современные pH-метры имеют функцию приведения результата к 25°С.

Для определения того, как тип дозируемого реагента влияет на погрешность измерений pH при приведении к 25°С выполнен эксперимент по дозированию в обессоленную воду растворов реагентов: аммиака и хеламина, при увеличении температуры с 20 до 45°С с шагом 2°С. Результатом работы является повышение точности измерения pH, приведенного к 25°С, за счет введения коэффициента наклона кривой зависимости pH–температура индивидуально для каждого водно-химического режима.

### **Литература**

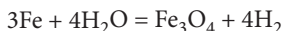
1. **Протокол** заседания подсекции «Водоподготовка и водно-химические режимы» НП «НТС ЕЭС» по теме «Реагенты на основе аминов для ведения ВХР». 2015.
2. **Ларин Б.М., Бушуев Е.Н.** Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС // М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
3. **МУ 34-70-114-85.** Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций.

*М.А. Бабичева, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОНТРОЛЯ КОРРОЗИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ВОДОРОДА В ПЕРЕГРЕТОМ ПАРЕ**

Для обеспечения надежной эксплуатации мощных установок необходимо прибегать к методам контроля коррозии металла котлов по косвенным показателям. Так, в современной энергетике получил применение метод, основанный на определении концентрации водорода в паре [1].

При взаимодействии стали с водой и паром ( $t < 572^\circ\text{C}$ ) образуется магнетит и водород:



Контроль интенсивности коррозии можно осуществлять по тому и другому продукту реакции: окислам железа и водороду, соответственно. Но часть окислов остается в виде защитной пленки на поверхности металла, а окислы, попадающие в воду и пар, остаются в тракте блока и линиях отбора пробы, что делает контроль по железу ненадежным. Контроль коррозии по второму продукту реакции удовлетворяет требованиям, предъявляемым к методам химического контроля, и является оперативным методом. Количество выделившегося водорода пропорционально количеству металла, превращающегося в оксиды. Таким образом, по количеству выделившегося водорода можно судить об интенсивности и видах коррозии стали.

Для оценки скорости протекания коррозионных процессов можно воспользоваться «водородным числом» [2]. Водородное число  $\theta$ ,  $\text{мкг H}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , показывает, сколько водорода образовалось на  $1 \text{ м}^2$  внутренней поверхности труб определенного участка за 1 ч., и определяется по формуле:

$$\theta = (\Delta\text{H}_2 \cdot D) / F,$$

где  $\Delta\text{H}_2$  — прирост содержания водорода на данном участке,  $\text{мкг/кг}$ ;  $D$  — производительность котла или расход теплоносителя на данном участке,  $\text{кг/ч}$ ;  $F$  — площадь внутренней поверхности труб рассматриваемого участка,  $\text{м}^2$ . Метод контроля за коррозией по содержанию водорода является целесообразным, на что указывают следующие причины: простота отбора пробы и возможность организации автоматического контроля; является оперативным методом, позволяющим надежно проследить коррозионное воздействие различных эксплуатационных факторов — водного режима, температурного, нагрузки котла и т.п.

### **Литература**

1. **Кокошкин И.А.** Определение растворенного в воде водорода для контроля коррозии оборудования тепловых энергетических установок: Дис. на степень канд. наук / ЦКТИ, Л.: 1968.
2. **Виноградов В.Н., Аван В.К.** Водородометрия при диагностике водно-химических режимов котлов ТЭС // «Вестник ИГЭУ» Вып. 2. — 2010 г.

*А.И. Заглубоцкий, П.С. Турлаев, Н.И. Титова, студенты;  
рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В КАЧЕСТВЕ ТЯЖЁЛОЙ СРЕДЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ БАРАБАННЫХ СЕПАРАТОРАХ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ**

В промышленности для гравитационных барабанных сепараторов в качестве тяжёлой среды применяют магнетитовую и водопесочную суспензии [1]. Несмотря на то, что за счёт использования данных тяжелых сред достигается высокая эффективность разделения угольных продуктов, имеются существенные недостатки их (сред) применения, а именно: высокие эксплуатационные расходы, сложность подготовки суспензии, требование постоянной гомогенизации, требования постоянного обновления в процессе эксплуатации, для поддержания рабочих параметров, и наличие постоянного уноса частиц-утяжелителей (магнетита и песка) в концентрат [2].

Коллективом авторов был предложен метод применения в качестве тяжелой раздельной среды для гравитационных барабанных сепараторов однофазных водных растворов высокой плотности. В частности, подземных хлоридных натриевых рассолов природного происхождения, высокоминерализованных вод поверхностных источников и сточных вод техногенного происхождения (в частности сточных вод Na-катионитных фильтров, образованных в процессе регенерации и отмывки).

Одним из путей повторного использования сточных вод с Na-катионитных фильтров является возможность их применения в качестве тяжелой среды в процессе обогащения энергетических углей горизонтального барабанного сепаратора. В связи с этим авторы предлагают использовать хлоридные натриевые рассолы и сточные воды из Na-катионитных фильтров в качестве тяжелой среды в горизонтальных барабанных сепараторах для обогащения угля в промышленных установках. Эффективность применения сточных вод и хлоридных натриевых рассолов в процессе обогащения углей зависит от их плотности. Данный показатель варьируется в диапазоне от 1060 кг/м<sup>3</sup> до 1200 кг/м<sup>3</sup>.

В рамках выполнения представленной работы процессы обогащения с применением хлоридных натриевых рассолов и сточных вод Na-катионитных фильтров были оценены экспериментальным методом по показателю эффективности, а также было дано заключение о возможности использования рассмотренных водных растворов в качестве тяжелых сред в горизонтальных барабанных сепараторах.

### **Литература**

1. **Авдохин В.М.** Обогащение углей: учебник для вузов в 2 т. // М.: Издательство Горная книга. 2012. Т. № 1. Процессы и машины.
2. **Бураков И.А.** Исследование возможности применения высокоминерализованных водных растворов природного и техногенного происхождения для обогащения энергетических углей. // Использование твердых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла: сб. докл. под общ. ред. д-ра техн. наук Г.А. Рябова // VI Международная научно-техническая конференция. М.: ОАО «ВТИ», 2022. 210 с., стр. 195–206.

*А.О. Иванова, студ.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ РАСЧЕТА pH И КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В УСЛОВИЯХ УХУДШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ**

Нарушения норм качества теплоносителя энергоблоков вызывают аварийные ситуации, для этого расширяют спектр функциональных возможностей СХТМ. Раскрыть приборный потенциал и достаточно эффективно выявлять быстротекущие нарушения можно благодаря прогнозированию концентраций примесей в пароводяном тракте [1]. На ранних стадиях нарушения можно отследить благодаря кондуктометрам и рН-метрам, поскольку они в промышленной эксплуатации являются наиболее надежными приборами.

Ввод алгоритмов расчета концентраций ионных компонентов в питательной, котловой водах и в составляющих их потоках в систему химического контроля и мониторинга позволит снизить объем ХК путем расчета показателей, которые не измеряются приборами [2]. В работе были исследованы такие способы расчета как: по соотношению расходов, рН, по удельной электропроводности с учетом и без учета форм уголекислоты.

Цель работы — сравнение способов расчета рН и концентрации аммиака и выявление оптимального для практического использования на ТЭС.

Результаты исследований показывают как влияют гидрокарбонаты на показатели качества воды и на расчетные методики: без ввода гидрокарбонатов математическая модель (способ с учетом форм уголекислоты) работает с допустимой погрешностью, а после ввода гидрокарбонатов погрешность возрастает по концентрации аммиака в 15 раз. Рекомендуется использовать способ с учетом форм уголекислоты и способ по соотношению расходов в условиях нормального качества питательной воды, в условиях ухудшения — способ с учетом форм уголекислоты с последующей доработкой алгоритма расчета.

### **Литература**

1. **Ларин А.Б., Колегов А.В.** Мониторинг водно-химического режима энергоблока ТЭС с ПГУ // Вестник ИГЭУ. 2013. № 3. С. 14–18.
2. **Ларин А.Б., Сорочкина А.Я.** Методика расчета рН и концентраций ионных примесей питательной воды на ТЭС по измерениям удельной электропроводности // Вестник ИГЭУ. 2016. № 5. С. 10–15.
3. **Егошина О.В., Звонарева С.К., Тет Вей Лин.** Сравнительный анализ использования алгоритмов расчета рН и концентрации аммиака в системах химического контроля на тепловых электростанциях // Вестник МЭИ. 2021. № 2. С. 37–42.

*Е.А. Быковский, К.А. Юричковский, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц;  
Д.В. Шуварин, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСКУССТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ ТУРБИННЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Проблема пожарной безопасности систем регулирования на турбоагрегатах с сверхкритическим давлением пара в современной теплоэнергетике решается на основе применения огнестойких турбинных гидравлических жидкостей на базе арилфосфатов, температура воспламенения которых на горячей поверхности составляет 730–740°C, полностью решающих проблему безопасности работы турбоагрегатов, в первую очередь, системы регулирования и системы смазки [1].

В настоящее время главная трудность заключается в том, что гидравлические жидкости на основе арилфосфатов выпускались в основном только за рубежом. В РФ данное производство было утеряно. На текущий момент предпринимаются попытки многих фирм таких как РН-смазочные материалы, ООО «Созидание» решить эту проблему путем выпуска отечественных масел на основе арилфосфатов или малотоксичных бутилированных огнестойких масел на базе фенольного сырья. Но проблема производства огнестойких жидкостей с необходимыми для производителей турбоагрегатов набором эксплуатационных характеристик и одновременно с низкой токсичностью (3 класс опасности) до конца не решена [2]. Для решения первой задачи новые отечественные образцы огнестойких жидкостей необходимо испытывать. Причем наиболее важно испытывать не свойства свежих огнестойких жидкостей, а прогнозировать их свойства при условиях реальной эксплуатации. С учетом стоимости продукта на 2–3 порядка больше, чем обычные нефтяные масла, прогнозирование срока эксплуатации становится экономически и технически важной задачей.

В рамках настоящей работы проведен анализ факторов, влияющих на старение огнестойких жидкостей при их работе в системах смазки и регулирования турбоагрегатов. На основании полученных данных разработан экспериментальный стенд и методика по ускоренному искусственному старению огнестойких жидкостей при условиях эксплуатации в системах регулирования и смазки паровых и газовых турбин.

### **Литература**

1. **Иванов К.И.** Огнестойкие турбинные масла. Химия, 1974.
2. **Фрагин М.С.** Регулирование и маслоснабжение паровых турбин: настоящее и ближайшая перспектива // спб.: Энерготех. 2005. 248 с.

*Ю.П. Сашникова, студ.;  
рук. М.М. Султанов, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ХИМИЧЕСКОГО УМЯГЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Согласно федеральному закону от 30 декабря 2021 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» предусматривается включение программ по переводу на закрытую схему горячего водоснабжения (ГВС), таким образом, встает вопрос целесообразности перехода от открытых систем теплоснабжения к закрытым.

При реализации открытой системы ГВС водозабор осуществляется непосредственно из теплосети, а водоподготовка — на тепловой станции. Недостатком данной системы является низкое санитарно-гигиеническое качество воды.

В настоящее время чаще всего используются пластинчатые теплообменники. Они чувствительны к качеству теплоносителя, поэтому очень важно ответственно подходить к процессу водоподготовки.

При закрытой системе теплоснабжения подогрев и очистка воды происходит непосредственно у потребителя. Благодаря этому можно наблюдать ряд эффектов: сокращение утечки теплоносителя, уменьшение подверженности коррозии теплообменников, уменьшения потерь подпиточной воды, сокращение расходов на транспортировку теплоносителя.

Также для предотвращения коррозии и накипеобразования применяют комплексоны (для сетевой обработки открытых и закрытых систем ГВС применяется WT-100, WT-799, 502 DIS), которые образуют защитную оксидную пленку.

В заключении можно отметить, что переход на закрытые системы ГВС целесообразен в совокупности с применением химического умягчения воды комплексономатами.

\*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF- 2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

### **Литература**

1. Теплоснабжающий полигон жилищно-коммунального хозяйства: учеб. пособие / Н.Д. Чичирова, Ю.В. Абасев, Р.В. Бускин // Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017.

*Д.С. Прирез, студ.; рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОКАЛЬНЫЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ**

Эксплуатация электрических станций сопряжена с использованием большого количества воды и как следствие образованием жидких отходов, часть которых после переработки возвращается повторно в цикл, а другая часть выводится в виде сточных вод.

Состав и количество сточных вод весьма различен и может варьироваться исходя из типа и мощности основного оборудования, качества исходной воды, способов ее подготовки и т.д. Также примеси, содержащиеся в таких водах, попадая в водоемы могут изменять свой солевой состав, значение рН, и другие показатели, что значительно затрудняет процессы самоочищения водоемов.

Для очистки сточных вод от различных примесей и загрязнений используются очистные сооружения. Они необходимы для защиты водных ресурсов и грунтов от загрязнения отходами деятельности человека [1].

Применяются различные методы очистки сточных вод — механическая, химическая, физико-химическая, биологическая очистки. Наибольшее значение при выделении примесей из сточных вод имеет отстаивание, фильтрование мембранными методами, флотация, коагуляция и сорбция, разложение и окисление веществ [2].

Так как непосредственный сброс сточных вод недопустим, то на электрических станциях необходимо создавать, а также модернизировать уже существующие очистные сооружения, позволяющие обеспечивать регламентированные нормы значений предельно-допустимых концентраций примесей, попадающих в водный объект. Научной новизной данной работы является применение опыта разработки и эксплуатации локально очистных сооружений тепловых электрических станций, для их применения на гидроэлектростанциях.

Исходя из вышеизложенного были поставлены следующие цели работы: изучение принципиальных технологических схем сбора и очистки сточных вод; составление перечня загрязняющих веществ, подлежащих очистке и контролю; выбор методики измерений в зависимости от вида и класса опасности загрязняющего вещества; составление описания доступных современных технологий очистки сточных вод в энергетике.

### **Литература**

1. **Дудоров В.Е.** Методы очистки сточных вод, виды очистных сооружений и инновации в области очистки сточных вод // Наука среди нас. 2019. № 4(20). С.
2. **Ксенофонтов Б.С.** Химические и физико-химические способы очистки сточных и техногенных вод; монография. М.: ИНФРА-М, 2022.

*С.А. Сильянов, Е.А. Парнова, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВНЕДРЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА ОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ, РАБОТАЮЩИХ ПО ПРОТИВОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ UPCORE**

При очистке воды в энергетике одним из важнейших показателей является объём получаемых регенерационных стоков. За последние годы разработано большое число вариантов ионообменных фильтров. При использовании ионного обмена в целях повышения экологичности и экономичности процессов, напрямую зависящих от расхода потребляемых химических реагентов и воды на собственные нужды [1], используют противоточную регенерацию. Одним из преимуществ которой является раздельная работа регенерирующих слоёв так, например слой наиболее полно отрегенированного ионита находится в зоне вывода обратной воды из фильтра [1]. При этом очищаемый и регенерационный раствор пропускаются через ионит в противоположных направлениях. Очищенный раствор контактирует с наиболее регенированным ионитом, что обеспечивает максимальное качество очистки и позволяет существенно сократить расход регенирующего агента и объём регенерационных стоков [2]. В процессе проведения сравнительных исследований эффективности прямоточной и вариантов противоточной регенерации одной из наиболее эффективных техно-логических решений была признана технология UPCORE (противоточная регенерация восходящим потоком).

На российском рынке, за последние десятилетия внедрено несколько установок UPCORE и в подавляющем большинстве из них используются зарубежные смолы. В текущих условиях становится критически важным внедрение отечественных ионообменных смол, однако для успешного подбора аналогов необходимо проведение экспериментальных исследований в установках, имитирующих процессы в промышленных фильтрах при работе по технологии UPCORE. В настоящей работе рассмотрены требования к экспериментальной установке и совместно с ООО «ГИДРОТЕХ», разработан её конструкторский проект для последующего проведения экспериментальных исследований ионообменных смол.

### **Литература**

1. **Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А., Очков В.Ф.** Водоподготовка в энергетике // М.: Издательство МЭИ. 2021. С. 265.
2. **Кишнеvский, В.А.** Технологии подготовки воды в энергетике / В.А. Кишнеvский. — Одесса: Феникс, 2008.



С.К. Лукутина, асп.; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОБЫ ПРИ ОТБОРЕ ПАРА

Одной из основных причин нарушений работы энергооборудования, приводящих к поломке работы оборудования и иногда к останову блока, является именно образование отложений продуктов коррозии. Таким образом, данная работа нацелена на исследование состояния продуктов коррозии в рабочей среде при отборе перегретого пара однососковым пробоотборным устройством.

Перегретый пар по продуктам коррозии является насыщенным раствором, достаточно небольшого изменения температуры и давления, чтобы пар стал пересыщенным и из него начался процесс выделения твердой фазы, частично осаждающей на стенках [1]. При постоянной температуре растворимость веществ в перегретом паре связана с его плотностью. Согласно [2] уравнение растворимости магнетита для интервала плотности от 10 до 200 кг/м<sup>3</sup> (1):

$$\lg S_{Fe_3O_4} = 0,6 \lg \left( \frac{\rho_{п}}{1000} \right) + 3050/4,57T - 7,15, \quad (1)$$

где  $\rho_{п}$  — плотность пара, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  — температура пара, К;  $S_{Fe_3O_4}$  — растворимость магнетита г/л.

В результате моделирования получены данные по максимальному и минимальному значению давления в пробоотборном устройстве при постоянной температуре, рассмотрено изменение растворимости магнетита для котлов среднего давления. На основе анализа результатов показано, что при использовании типового пробоотборного устройства для отбора пробы перегретого пара происходит изменение давления в момент поворота рабочей среды на 90°, которое влияет на представительность пробы незначительно — растворимость магнетита изменяется в допустимых пределах (не превышает  $3 \cdot 10^{-7}$  мкг/кг).

\*Работа выполнена в рамках проекта «Исследование и разработка устройств отбора пробы насыщенного и перегретого пара в системах химического контроля и управления водно-химическим режимом на энергообъектах нового поколения» Национальный исследовательский университет «МЭИ» в рамках III очереди программ научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» на период 2022–2024 гг.».

### Литература

1. Fahlke J., Fichte W., Maughan E., Pflug H., Seipp H.G., Staudt U. On-line analytical systems for the next millennium. // 6-th International conference on fossil plant cycle chemistry. 2000. Columbus. USA.
2. Двойнишников В.А., Деев Л.В., Изюмов М.А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок // Машиностроение. Москва. 1988.

*М.А. Зайцев, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## **К ВОПРОСУ О ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТКАХ НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Химические очистки теплоэнергетического оборудования являются необходимым предпусковым или эксплуатационным мероприятием и предназначены для удаления с внутренней поверхности котла отложений, окалины, рыхлой ржавчины и т.д. Состав и количество отложений зависят от типа оборудования, параметров его работы, качества теплоносителя, условий эксплуатации и ряда других факторов.

Общая задача этих промывок состоит в обеспечении надежной и экономичной эксплуатации котлов, что обусловлено чистотой поверхности металла. Для энергетических котлов различают два основных вида химических промывок: предпусковые и эксплуатационные.

Целью предпусковых химических очисток является удаление из смонтированного оборудования технологической окалины, продуктов атмосферной коррозии, сварочного графа, смазочных масел, земли, песка и прочих загрязнений. Эти загрязнения попадают в котел при изготовлении, перевозке и монтаже оборудования, простое после монтажа и др. После выполнения химических очисток количество отложений на поверхностях нагрева барабанных котлов согласно [1] не должно превышать  $70 \text{ г/м}^2$ , а для прямоточных котлов сверхкритического давления  $25 \text{ г/м}^2$ .

Предпусковая химическая промывка позволяет обеспечить необходимое качество пара в более короткие сроки после пуска оборудования. В первую очередь это относится к концентрации в паре соединений железа и кремниевой кислоты. Например, при проведении предварительной химической очистке стабильные показатели качества пара устанавливаются примерно в 6 раз быстрее, чем без нее. Предварительной химической очистке подвергается не только котел, но и вспомогательное оборудование с водяной стороны, такие как ПВД и паропроводы.

Опыт показывает, что при осуществлении предпусковой очистки котел высокого давления выдает пар удовлетворительной чистоты уже через 1–2 недели, а при включении его в работу без предварительной очистки — только через 3 месяца, причем при остановках и последующих растопках качество пара вновь резко ухудшается.

### **Литература**

1. РД 34.37.404, МУ 34-70-113-85. Методические указания по предпусковой химической очистке теплоэнергетического оборудования. Москва, 1986.

*Е.А. Парнова, С.А. Сильянов, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСКРЕМНИВАНИЕ ВОДЫ ПРИ ЕЁ ПОДГОТОВКЕ ДЛЯ НУЖД ПОДПИТКИ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

Очистка воды на ТЭС имеет огромное значение для всей станции в целом. Вода низкого качества может привести к коррозии оборудования и образованию отложений [1]. Для удовлетворения требований к качеству воды, потребляемой при выработке электрической и тепловой энергии, возникает необходимость специальной физико-химической обработки природной воды [2]. Одновременно с очисткой природной воды для подготовки используемой на электростанциях чистой воды необходимо решать комплексно вопросы, связанные с утилизацией образующихся при этом сточных вод.

Удаление ряда примесей, вызывает большие затруднения, а их наличие неизбежно ведёт к нежелательным последствиям. Одной из таких примесей являются различные формы кремниевой кислоты. Она слабо растворима и значительно влияет на возможность применения воды в теплосиловом цикле ТЭС, причём как в растворённом виде, так и в коллоидной форме. На практике различные технологии удаления форм кремниевой кислоты способны лишь частично задержать данные соединения, что является причиной их транзита в питательную воду [3]. Поскольку проблема довольно актуальна, существует необходимость поиска оптимального решения для очистки от всех форм кремнекислоты.

В настоящей работе проведен литературный обзор по различным формам кремнекислоты, их основные свойства и характеристики, а также методы определения их содержания. Кроме того, были рассмотрены варианты технологий для одной из тепловых электростанций Российской Федерации, которая должна позволить обеспечить согласованные с требованиями ПТЭ показатели качества питательной воды для энергоблоков с барабанными котлами, (номинальной) производительностью до 179 т/ч.

### **Литература**

1. **Балаев И.С.** Десятилетний опыт внедрения технологии АПКОРЕ / И.С. Балаев, О.Б. Яковенко, И.И. Боровкова // Энергоснабжение и водоподготовка. — 2005. — №4(36). — С. 6–7.
2. **Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А., Очков В.Ф.** Водоподготовка в энергетике // М.: Издательство МЭИ. 2021. С. 265.
3. **Николадзе Г.И.** Технология очистки природных вод: учеб. для вузов / М.: Высшая школа, — 1987. — С. 497.

*М.А. Емелин, Д.С. Леонова, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА И ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Проблемы, связанные с экологией, на данный момент являются приоритетом для многих учёных. В мире наблюдается тенденция разработки новых технологий по уменьшению выбросов углекислого газа в атмосферу [1]. Однако, этого может быть недостаточно для предотвращения глобального потепления. Таким образом, возникла идея о создании топливных элементов (ТЭ), которые являются экологически-чистыми источниками энергии.

Топливный элемент — это устройство, способное вырабатывать постоянный ток и тепло из водорода и кислорода путем электрохимической реакции так долго, пока он имеет доступ к топливу и воздуху. Топливные элементы можно сравнить с батареей. Они вырабатывают постоянный ток путем химической реакции, а также они включают в себя анод, катод и электролит. Однако, в отличие от батарей, они не могут накапливать электрическую энергию, не разряжаются и не требуют электричества для повторной зарядки [1].

Создание учебного лабораторного стенда позволит изучить принцип работы связки генератора водорода и ТЭ при различных нагрузках. Появится возможность изучить основные рабочие характеристики ТЭ, факторы, влияющие на потери в выходном напряжении, а также, изучить термодинамику процесса.

### **Литература**

1. Fuel cells fundamentals: Third edition / Ryan O'Hayre, Suk-Won Cha, Whitney Colella, Fritz B. Prinz // Published by Wiley, 2016.

*Д.М. Габдушев, Е.Ю. Голохвастов,  
И.И. Бердышев, студенты (НИУ «МЭИ», Москва);  
рук. Р.Ж. Габдушев, к.т.н., доц. (СамГТУ, Самара)*

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ ТЭЦ

Производство энергии на ТЭЦ сопровождается использованием большого количества природной воды и сбросом сточных вод различной степени загрязненности. В соответствии с [1] с 1 января 2020 г. стимулирующие коэффициенты подлежат пятикратному увеличению, что привело к значительному росту затрат на оплату сбросов загрязненных сточных вод.

Была оценена существующая система очистки сточных вод на ТЭЦ-26 и выделены риски, применяемых технологий. По мере загрязнения механического фильтра возрастает его сопротивление, снижается производительность, что может вызвать пропускание нефтепродуктов. В настоящий момент в шламоотстойник поступают воды с замасленных и замазученных стоков после их очистки в механических фильтрах. Учитывая значительное превышение концентрации нефтепродуктов в сточных водах ТЭЦ-26, рекомендуется очистка шламоотвала.

Предлагается доочистить воду из шламоотстойника и направить на ввод водоподготовительной установки (ВПУ), вместо ее сброса в канализацию. Очистку стоков от нефтепродуктов проводить с помощью добавления бактерий. А для очистки от различных металлов и солей использовать фильтр обратного осмоса до ВПУ, который позволяет добиться качества воды в соответствии с требованиями к городскому водоснабжению. Данное решение способствует уменьшению сброса сточных вод и водопотребления ТЭЦ. Результаты технико-экономического расчета представлены в таблице 1, где К — капиталовложения, DPP — дисконтированный срок окупаемости, IRR — внутренняя норма доходности, NPV — дисконтированный доход, PI — индекс рентабельности.

**Таблица 1.** Результаты технико-экономического расчета

К, млн. руб.	DPP, лет	IRR, %	NPV, млн. руб.	PI
9,906	4,2	21,9	2,2	1,21

Исходя из результатов выполненной работы следует, что применение данного подхода к анализу системы водоочистки и рациональное использование воды на ТЭЦ позволит в частных случаях повысить рентабельность генерирующей компании и уменьшить ее издержки.

### Литература

1. **Постановление Правительства РФ** от 3 марта 2017 г. № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду».

*Д.С. Леонова, М.А. Емелин, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Плазма является четвертой и наиболее распространенной формой материи. Она обеспечивает электрически нейтральную среду из несвязанных отрицательно и положительно заряженных частиц, которая была получена путем воздействия воздуха и других газовых смесей для усиления электромагнитного поля и путем нагрева инертных газов для создания положительных и отрицательных ионов.

В работе [1] рассмотрены способы получения и области применения плазмы атмосферного давления. Atmospheric pressure cold plasma (АСР) — это плазма, генерируемая при атмосферном или близком к нему давлении.

Характеристика оптического излучения источника АСР с диэлектрическим барьерным разрядом и измерения озона показали образование активных форм  $O_2$  и возбужденного азота.

Как показывает анализ литературных источников, окислительная среда влияет на липиды, что приводит к изменению белковых соединений. Считается, что окисление белков непосредственно влияет на ряд функциональных свойств. Окислительные изменения в белках могут преобразовывать их молекулярную массу и растворимость и, следовательно, их взаимодействие с водой, а также способность образовывать клейковинную сеть [2]. В ходе экспериментов путем обработки АСР были выявлены зависимости изменения вязкоупругости от времени, влажности и температуры воздуха [3].

Важно отметить, что обработка не оказала существенного влияния на общее содержание белков, хотя наблюдалась тенденция к увеличению молекулярно-массовых фракций, что свидетельствовало об окислении белка, и обработанные образцы исследования увеличивали свою вязкость, прочность, эластичность и упругость [2–3]. Эти изменения произошли в результате действия активных химических соединений АСР, которые были обнаружены с помощью измерений озона и оптической эмиссионной спектроскопии разряда [1].

### **Литература**

1. **Mehmood F., Kamal T., Ashraf U.** Generation and Applications of Plasma (An Academic Review) // Preprints. 2018.
2. **Bahrami N., Bayliss D., Chope G.** Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality // Food Chemistry. 2016.
3. **Bernardin, J.E.** Gluten protein interaction with small molecules and ions — the control of flour properties. // Bakers Dig. 1978.

*А.Ю. Логинова, асп.;*  
*рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕСТКОГО СТОКА НА УСТАНОВКЕ НАНОФИЛЬТРАЦИИ ПУТЕМ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ НА-КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ

В настоящее время для получения обессоленной воды на ТЭС широко используются установки обратного осмоса (УОО) [1]. Часто для уменьшения вероятности образования кальциевых отложений на поверхности мембран применяется предварительное умягчение обрабатываемой воды на Na-катионитных фильтрах. Однако такая обработка воды требует дополнительный расход товарной поваренной соли.

В работе [2] представлен вариант мероприятия по утилизации ЖС (рис. 1) согласно которому, отработанный раствор после регенерации Na-катионитных фильтров, направляется на установку нанофильтрации (УНФ). Полученный на УНФ пермеат содержит в основном хлорид натрия и является основой для приготовления регенерационного раствора. В этот пермеат добавляется товарная поваренная соль для получения раствора требуемой концентрации для регенерации Na-катионитного фильтра.

На основе разработанной методики выполнен многовариантный технологический расчёт рассмотренного мероприятия, в ходе которого были определены основные технологические, экологические и технико-экономические показатели работы ВПУ. Анализ полученных результатов показал, что повторное использование основной части хлорида натрия проводит к значительному уменьшению потребности в товарном продукте (от 15 до 25%) и повышает экологические показатели ВПУ. К недостаткам технологии можно отнести высокую стоимость нанофильтрационных элементов УНФ.



**Рис. 1.** Технологическая схема утилизации жёсткого стока и получения из него регенерационного раствора: БПРС — бак подготовки регенерационного раствора поваренной соли; НДРС — насос-дозатор раствора соли

### Литература

1. Бушуев Е.Н., Еремина Н.А., Жадан А.В. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС // Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 1. С. 8–14.
2. Загреддинов И.Ш. Ресурсосберегающие и энергоэффективные схемы в промышленной водоподготовке // НРЭ. 2009. № 10. С. 27–39.

*Н.Р. Умирова, А. Даваахуу, аспиранты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРЕДПРОЕКТНЫЕ РАСЧЕТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБЪЕКТАМ УЗБЕКИСТАНА**

Проведены предпроектные расчеты применительно к энергообъекту Узбекистана в Джизакской области. Источником водоснабжения служит Южно-Голодностепинский канал. Имея данные по показателям качества воды с Южно-Голодностепинского канала, произведён расчет ВПУ. Производительность насосной станции, обеспечивающая добавочной водой два энергоблока и составляющая при нормальных условиях работы 960 м<sup>3</sup>/час — среднегодовой расход, 1360 м<sup>3</sup>/час — максимальный расход.

Авторы данной работы подробно описали факторы, присутствующие при расчете и выборе ВПУ, приведены рекомендации выбора типа и количества фильтров, статья снабжена таблицами и схемами, в заключении даются выводы и предложены варианты уменьшения затрат воды, реагентов и соответственно для улучшения экологии региона.

Для количественной оценки расходов реагентов, воды собственных нужд и ознакомления с методикой выбора оборудования ВПУ выполнен расчет обессоливающей установки с параллельным включением фильтров по схеме М\* - Н<sub>1</sub> - А<sub>1</sub> - Д - Н<sub>2</sub> - А<sub>2</sub> производительностью 960 м<sup>3</sup>/час, работающей на коагулированной поверхностной воде [1].

Рассмотрена схема очистки воды с использованием барометрических мембранных технологий. Проведено сравнение предлагаемых технологий с точки зрения количества и качества образующихся сточных вод.

Проведены исследование и испытание сорбента глауконита Каратауского месторождения (Узбекистан, РКК). Сорбент позволяет очистить воду от высокой минерализации, жесткости и радиоактивных примесей [2].

Впервые авторами предложено применить глауконит в качестве сорбента нового поколения для очистки сточных вод на энергетических объектах и соответственно для уменьшения сброса загрязнённых вод в окружающую среду.

### **Литература**

1. **Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А., Очков В.Ф.** Водоподготовка в энергетике. ISBN 978-5-7046-2439-4. — М.: Издательство МЭИ, 2021 г.
2. **Umirova N.** Use of glauconite as a non-reagent sorbent for the softening of drinking and boiler waters, industrial waste water. E3S Web of Conferences 216, 01147 (2020).



*Е.А. Парнова, Е.А. Быковский, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц.;  
Д.В. Шуварин, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЗАМЕЩЕНИЕ ИМПОРТНЫХ МАСЕЛ КЛАССА ВЯЗКОСТИ ISO VG 68 И БОЛЕЕ НА МАСЛА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Вязкость — является важнейшей характеристикой масла, она напрямую влияет на величину внутреннего трения в слое жидкости, определяющего сопротивление ее течению [2]. Масла повышенной вязкости рекомендуется применять в двигателях, режим эксплуатации которых сопряжен с высокими нагрузками. При выборе смазок желательно стремиться к использованию продуктов, имеющих больший индекс вязкости, т.к. они позволяют обеспечивать стабильную вязкость в широком диапазоне температуры, что гарантирует сохранение масляной пленки и гидродинамический режим смазки на малых и высоких нагрузках. Достаточный индекс вязкости материалов обеспечивается с помощью присадок. Высоковязкие масла широко используются в энергетической промышленности. На ТЭС масла класса вязкости ISO VG 68 и более, используются в различных устройствах: дымососах, дожимных газовых компрессорах и т.д. [1].

В настоящее время в России существует конкурентное производство низковязких смазочных материалов, однако с высоковязкими материалами наблюдается обратная тенденция, вследствие чего до последнего времени высоковязкие материалы закупаются в основном за рубежом.

Тема настоящей работы — разработка пластичных смазок с улучшенными свойствами для замещения импортных масел класса вязкости ISO VG 68 и более.

В рамках работы проанализированы эксплуатационные требования к высоковязким маслам, определен перечень зарубежных аналогов на одном из объектов тепловой энергетики, составлена программа для проведения лабораторных испытаний, подобраны подходящие присадки и добавки для улучшения свойств.

### **Литература**

1. **Анисимов И.Г., Бадыштова К.М., Бнатов С.А.** Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. // Справочник. 2-е изд. Под ред. В.М. Школьников. М.: Изд. центр «Техинформ», 1999.
2. **Прушак В.Я.** Трение и износ в машинах // Учеб. для техн. вузов. Минск: Высш. шк. 2015.
3. **Лышко Г.П.** Топливо и смазочные материалы // М.: Агропромиздат, 1985.

**Секция 46**  
**СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**  
**Operation schemes and regimes of thermal**  
**power plants**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Дудолин Алексей Анатольевич*

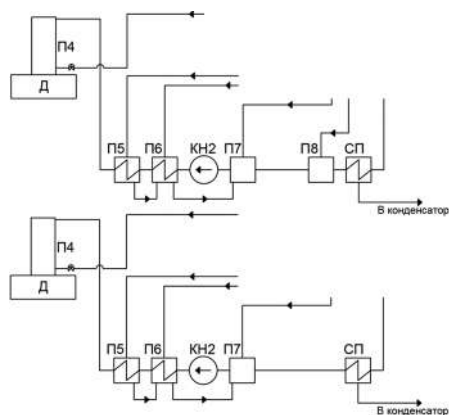
*Секретарь секции: к.т.н. Крашенинников Сергей Михайлович*

*Н.В. Чазов, студ.; рук. Е.Н. Олейникова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЭС**

Система регенерации низкого давления является важным комплексом, влияющим на экономичность работы ТЭС. Повышение технико-экономических характеристик ТЭС может быть достигнуто за счет оптимизации схемных решений в части регенерации низкого давления с учетом режимных параметров и условий эксплуатации. В исследовании рассмотрен вариант реконструкции системы регенерации низкого давления (рис. 1). В схеме паротурбинного энергоблока электрической мощностью 300 МВт была произведена замена двух горизонтальных подогревателей низкого давления (ПНД) смешивающего типа (ПНСГ-800-1 и ПНСГ-800-2 [1]), установленных по гравитационной схеме на один вертикальный подогреватель смешивающего типа (ПНСВ-2000 [1]).

Выполнен расчет тепловой схемы методом тепловых и материальных балансов, а также тепловой, конструкторский, гидравлический и прочностной расчет нового смешивающего подогревателя низкого давления согласно методике, изложенной в РТМ 108.038.03-83 [2]. Выявлено, что в результате замены подогревателей удельный расход топлива на выработку электроэнергии увеличился на 0,5%, снижение КПД по выработке электроэнергии составило 0,52%, но при это значительно снижается металлоемкость блока.



**Рис. 1.** Сравнение схем регенеративного подогрева низкого давления до и после реконструкции

### **Литература**

1. Каталог «Теплообменное оборудование» Таганрогский котлостроительный завод «Красный котельщик».
2. РТМ 108.038.03-83 Подогреватели регенеративные смешивающие и схемы их включения.

А.А. Константинов, асп.;  
рук. М.М. Султанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ

В современных условиях, на ТЭС, функционирующих на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ), оказывается большое число внешних воздействий и устанавливаются жесткие рамки конкуренции.

Разработка механизма оптимизации режимов работы оборудования с целью минимизации топливной составляющей в себестоимости единицы выработанной электроэнергии остается актуальной темой в части повышения конкурентоспособности ТЭС на ОРЭМ.

На сегодняшний день данный вопрос достаточно широко рассмотрен и изучен многими авторами, но в плоскости однокритериальной задачи оптимизации. В частности, в работе [1], автор предлагает упрощенную модель оптимизации паротурбинных установок по критерию минимума суммарного расхода тепла на них. Автор работы [2] в качестве критерия оптимизации режимов работы теплоэлектроцентрали использует максимизацию маржинального дохода при функционировании на ОРЭМ.

Однокритериальный подход к решению задачи оптимизации режимов работы ТЭС увеличивает погрешность и приводит к недоиспользованию эффекта оптимальности.

На основании выше сказанного предлагается применить модель многокритериальной оптимизации, в частности на базе критерия экономичности и надежности:

$$\begin{cases} F_1 = \max f(\text{МД}) \\ F_2 = \max f(k_{\text{ОР}}^{\text{ТЭС}}) \end{cases} \quad (1)$$

где МД — суммарный маржинальный доход ТЭС при функционировании на ОРЭМ и рынке тепла;  $k_{\text{ОР}}^{\text{ТЭС}}$  — коэффициент оперативной готовности ТЭС.

Таким образом, применение данного метода оптимизации позволит снизить погрешность расчетов и приведет к повышению эффективности процесса поиска оптимальных режимов работы ТЭС.

### Литература

1. **Горнштейн В.М.** Методы оптимизации режимов энергосистем. М. Энергия, 1981.
2. **Чичирова Н.Д.** Оптимизация режимов работы теплоэлектроцентрали, характеризуемой целевой функцией с нелинейными ограничениями // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 1(32). С. 35–40.

*А.С. Зиновьева, асп.;*  
*рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## СВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЭП ГТУ

По требованиям РД, расчету фактических значений ТЭП оборудования ТЭС должен предшествовать этап сведения материальных и энергетических балансов. По ГТУ такие методики не определены. Апробированный ранее для паросилового цикла [1] подход распространяется и на ГТУ.

Задача сведения балансов в скалярной постановке формулируется в рамках концепции регуляризации Тихонова при решении некорректных задач:

$$F(\mathbf{Y}, \lambda) = |\mathbf{A}\mathbf{Y} - \mathbf{B}|^2 + \lambda |\mathbf{Y} - \mathbf{Y}_0|^2 \Rightarrow \min,$$

где  $\mathbf{Y}$ ,  $\mathbf{Y}_0$  — искомое регуляризованное решение и его априорная оценка;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  — известные операторы модели системы;  $\lambda$  — малый положительный параметр регуляризации, который необходимо подобрать при решении задачи. При минимизации функции  $F(\mathbf{Y})$  находится регуляризованное решение  $\mathbf{Y}(\lambda)$ , зависящее от  $\lambda$ . Матричный оператор  $\mathbf{A}$  и регуляризованное решение  $\mathbf{Y}$  для ГТУ:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 0 \\ h_{\text{ТОПЛ}} + Q_{\text{Н}}^{\text{P}} & h_{1\text{К}} & -h_{2\text{T}} & -\frac{1}{\eta_{5\text{T}}} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$Y = (B_{\text{КС}} \quad G_{1\text{К}} \quad G_{2\text{T}} \quad N_{\text{ГТУ}})^{\text{T}}, \quad (2)$$

где  $h_{\text{ТОПЛ}}$ ,  $h_{1\text{К}}$ ,  $h_{2\text{T}}$  — энтальпия соответственно топлива на входе в камеру сгорания, воздуха на входе в компрессор, продуктов сгорания за турбиной, МДж/кг;  $Q_{\text{Н}}^{\text{P}}$  — низшая удельная теплота сгорания на рабочую массу топлива, МДж/кг;  $\eta_{5\text{T}}$  — коэффициент, характеризующий суммарные потери от наружного охлаждения элементов и электромеханические потери ГТУ;  $B_{\text{КС}}$ ,  $G_{1\text{К}}$  и  $G_{2\text{T}}$  — расходы соответственно топлива в камеру сгорания, воздуха на входе в компрессор и продуктов сгорания на выходе из турбины, кг/с;  $N_{\text{ГТУ}}$  — электрическая мощность ГТУ, МВт.

Аналитическое решение задачи при её скалярной постановке ( $B=0$ ) имеет вид:

$$\mathbf{Y} = (\mathbf{A}^{\text{T}} \mathbf{A} + \lambda \mathbf{E})^{-1} \lambda \mathbf{Y}_0.$$

Предложенная методика апробирована при сведении балансов по ГТУ типа GTX-100. В докладе приводятся результаты решений для контрольных режимов, доказывающие применимость и эффективность методики.

### Литература

1. Алгоритмы сведения материальных и энергетических балансов при расчетах технико-экономических показателей оборудования ТЭС на основе метода регуляризации некорректны задач / Ледуховский Г.В., Жуков В.П., Барочкин Е.В. [и др.] // Теплоэнергетика. — 2015. — №8. — С.72–80. DOI: 10.1134/S0040363615080032.

*Н.А. Стародубцев, студ.;*  
*рук. А.А. Дудолин к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ САКМАРСКОЙ ТЭЦ СО СТРОИТЕЛЬСТВОМ ПГУ-230 МОЩНОСТЬЮ 220 МВт В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДПМ-2**

Сакмарская ТЭЦ введена в эксплуатацию в 1969 году. Установленная электрическая мощность — 460 МВт. Установленная тепловая мощность — 1576 Гкал/ч.

Проблема устаревшего оборудования все так же актуальна и, согласно оценке Минэнерго, в России в ближайшее время необходимо обновить или вывести из эксплуатации более половины генерирующих мощностей [1]. Поэтому в начале 2019 года Правительство РФ одобрило новую программу по отбору проектов для модернизации (КОММод) или ДПМ-2.

Главной задачей программы модернизации является замена (модернизация) старого оборудования, а не строительство новых объектов, поэтому при отборе проектов приоритет отдается старому оборудованию и имеются ограничения на изменение установленной мощности (от -50% до +20%).

В качестве примера, реализации программы ДПМ-2, может служить реконструкция Сакмарской ТЭЦ со строительством ПГУ-230 мощностью 220 МВт. Известно, что из всех технологий на базе тепловых двигателей наибольшую экономичность имеют парогазовые установки, а соответственно и целесообразность технического перевооружения отечественных электростанций по данному типу технологий. В свою очередь парогазовая установка ПГУ-230 это одно из наиболее экономичных решений выработки электрической и тепловой энергии, а опыт их применения насчитывает уже не один десяток лет. Кроме того, важное значение для повышения эффективности ТЭС имеет вывод из эксплуатации старого низкоэффективного оборудования и замена его перспективным, обеспечивающим снижение затрат на производство электроэнергии и тепла, снижение расхода топлива, уменьшение выбросов в атмосферу и затрат на ремонт.

Для Сакмарской ТЭЦ была выбрана газотурбинная установка ГТЭ-160, номинальной мощностью 160 МВт производства АО «Силовые машины» (ЛМЗ) [2].

### **Литература**

1. [https://atomicexpert.com/take\\_care\\_of\\_your\\_consumer?ysclid=l9wo3z3pmpf340113368](https://atomicexpert.com/take_care_of_your_consumer?ysclid=l9wo3z3pmpf340113368).
2. <https://power-m.ru/customers/thermal-power/gas-turbines/>

*А.С. Красичков, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф.(НИУ МЭИ)*

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДОГРЕВ ТОПЛИВА НА ПГУ 450 МВт С КУ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ НА БАЗЕ SGT5-2000E**

Использование предварительного подогрева топливного газа уменьшает общее количество топлива подаваемого в камеру сгорания (КС), для достижения необходимой температуры перед газовой турбиной, увеличивая при этом ее эффективность [1, 2].

$$B_{ГТ} = \frac{G_{КС} \cdot (h_{ГТ} - h_{КК})}{Q_i^f \cdot \eta_{КС} + h_{ГП}} \text{ [кг/с]}, \quad (1)$$

где  $G_{КС}$  — расход воздуха на входе в КС;  $h_{ГТ}$  — энтальпия газов на входе в ГТ;  $h_{КК}$  — энтальпия сжатого воздуха за компрессором;  $Q_i^f$  — низшая теплота сгорания топлива;  $\eta_{КС}$  — КПД КС;  $h_{ГП}$  — энтальпия топлива.

На ПГУ КЭС с КУ (трех давлений) в РФ предварительный подогрев повышает тепловую экономичность [3]. Влияние подогрева топлива на технико-экономические показатели ПГУ до конца не исследованы.

Введение экономических санкций против РФ значительно ограничило возможности создания ПГУ КЭС на базе ГТУ зарубежного производства. На базе российских ГТУ возможно создание ПГУ ТЭС с КУ двух давлений. Модификация этой ГТУ (ГТЭ-170.2) предполагает производить АО «Силловые машины» [1]. Исходя из этого авторами проведена оценка показателей тепловой экономичности для дубль-блока ПГУ 450 МВт на базе газовой турбиной SGT5-2000E, частично локализованной в РФ.

Для предварительного подогрева топлива рассмотрены следующие схемные решения: отбор теплоносителя из контура высокого давления; отбор теплоносителя из контура низкого давления; отбор теплоносителя из паропровода собственных нужд.

### **Литература**

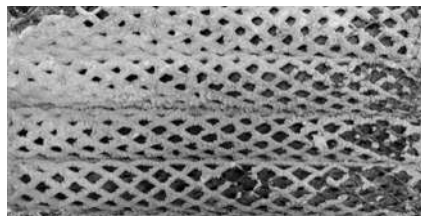
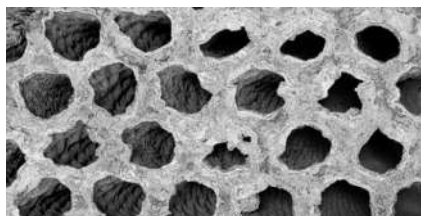
1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С.** Газотурбинные энергетические установки; под ред. Бурава В.Д., — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2022. — 428 с.: ил.
2. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций; под ред. Цанева С.В. — М.: Издательство МЭИ 2002. — 584 с.: ил.
3. **Буров В.Д., Красичков А.С.** Влияние подогрева топлива на входе в газотурбинную установку на показатели тепловой экономичности парогазовых установок // Новое в российской электроэнергетике. — 2022 г. — № 9 — С. 25–32.

*Н.А. Татарникова, студ.; В.А. Варигина, студ.; А.Б. Ондар, асп.;  
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

## **ОБ ОБРАСТАНИЯХ ОРОСИТЕЛЕЙ БАШЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН**

Основным технологическим элементом башенной испарительной градирни (БИГ) является ороситель. На сегодняшний день даже при ведении проектного ВХР существует проблема обрастания оросителей БИГ, которая наблюдается у энергоблоков общей электрической мощностью около 6,0 ГВт, ограничения мощности составляют величину не менее 140 МВт.

Отложения обычно имеют в своём составе соединения железа и кальция, кремнистые и органические соединения. Масса одного блока оросителя за 3 года эксплуатации увеличивается в среднем в 15–25 раз. Механический метод очистки оросителей градирен неэффективен (как и ультразвуковая очистка, криогенный бластинг), поэтому ремонт орошающего устройства производится заменой блоков оросителя.



**Рис. 1.** Отложения на оросителях

В ОАО «ВТИ» были проведены исследования химической очистки оросителей и было доказано, что этот способ является эффективным. Однако из-за определенного состава химических реагентов необходимо учитывать скорость коррозии конструктивных элементов градирни, а также то, что вода в градирне постоянно омывается воздухом, удаляемым в окружающую среду и, соответственно, химические реагенты, препятствующие образованию органических и минеральных отложений в градирне, неизбежно будут попадать в воздух. Поэтому при химической обработке воды следует предусмотреть и обеспечить проведение мониторинга выходящего из градирни воздуха, с целью обеспечения требований экологической безопасности.

### **Литература**

1. **Татарникова Н.А., Процкив В.Р., Такташев Р.Н.** Исследование охлаждающей способности башенных испарительных градирен БГ-2100 и БГ-10000 // Радиотехника, электротехника и энергетика. — Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2022. — С. 720.

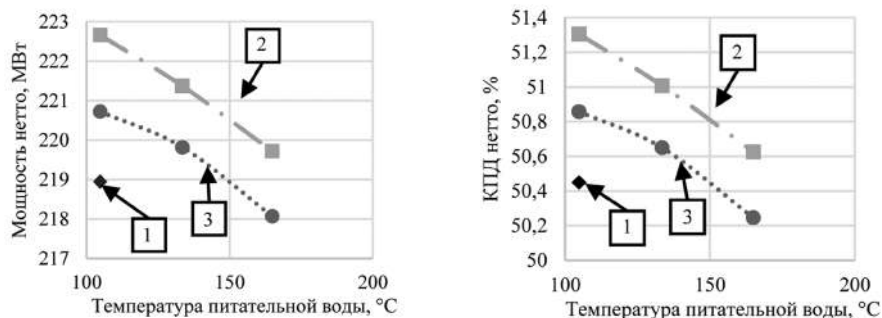


*В.Ю. Наумов, асп.; И.А. Максимов, асп.; Е.Н. Сабанова, студ.;  
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)*

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТРИНАРНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Парогазовые установки (ПГУ) обладают максимальной эффективностью среди энергоустановок большой мощности и являются наиболее развитой технологией производства электроэнергии на органическом топливе. Основным способом повышения эффективности ПГУ на протяжении последних 40 лет являлось увеличение начальной температуры газотурбинного цикла. Сегодня уровень температуры на входе в газовые турбины достигает 1650°C и дальнейший рост начальных параметров затруднен из-за необходимости развития жаропрочных сплавов, термобарьерных покрытий и систем охлаждения. Альтернативным способом повышения эффективности является переход от бинарных циклов к тринарным за счет интеграции дополнительных низкопотенциальных циклов (НПЦ) на низкокипящих теплоносителях [1].

Предложенная в настоящей работе тепловая схема тринарной энергоустановки содержит развитую систему регенеративного подогрева основного оконденсата и НПЦ для утилизации теплоты уходящих газов котла-утилизатора (КУ). По результатам моделирования установлено, что электрический КПД нетто разработанной тринарной энергоустановки с одноконтурным КУ и НПЦ на R236еа больше на 2,14%, чем у одноконтурной ПГУ и на 0,36–0,45%, чем у двухконтурной ПГУ.



**Рис. 1.** Зависимость мощности (слева) и эффективности (справа) тринарного цикла на основе ГТЭ-160 от температуры питательной воды. Примечание: 1 — тринарный цикл без регенерации, 2 — тринарный цикл с регенерацией, 3 — двухконтурная ПГУ

Исследование выполнено в НИУ “МЭИ” при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта № 21-79-00262.

### Литература

1. Киндра В.О., Наумов В.Ю., Скляр Н.С. Львов Д.Д., Максимов И.А. Тринарные энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива // Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.

*Д.В. Сидоров, асп.; А.А. Дудолин к.т.н., доц. рук. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ**

В последние годы, наряду с вопросами повышения энергетической эффективности за счет применения в том числе и схем на базе установок ТНУ (парокомпрессионных, абсорбционных) уделялось недостаточно внимания.

В работе на примере ТЭЦ-27 (Московская область, город Мытищи) был рассмотрен вопрос повышения выработки тепловой мощности для нужд теплоснабжения Мытищинского района за счет установки абсорбционной холодильной машины. Тепловая мощность данной нагрузки определяется мощностью Газо-Водяного Теплообменника (ГВТО) котла утилизатора и равна  $Q_{\text{ГВТО}} = 35,971$  ( $\approx 36,0$  МВт). Тепловая мощность предназначена для покрытия нужд систем отопления, вентиляция и горячего водоснабжения (ГВС), которые по характеру протекания являются сезонными нагрузками и не имеют, за исключением ГВС, круглогодичного характера. Отопление, вентиляция и ГВС являются зимними тепловыми нагрузками.

В летний период нагрузка на теплоснабжение снижается, остается возможность получения излишнего количества тепловой энергии (профицита) в объеме до 45%. Данный профицит тепла можно полезно использовать для выработки хладоэнергии посредством абсорбционной холодильной машины (АХМ), в которой выработка хладоэнергии напрямую связана с поглощением тепловой энергии. В нашем случае профицит тепловой энергии в летний период составит  $Q_1 = 36,0 \cdot 45,5\% = 16,4$  МВт. При холодильном коэф. АХМ равным 0,77 получаем холодильную мощность равную  $Q_{\text{хол}} = 12,6$  МВт.

В Мытищинском районе в непосредственной близости от ТЭЦ-27 возможно подключение трех значительных объектов потребления хладонагрузки: МФТРК «Ханой-Москва», ТРЦ «Июнь» и «Мега-Мытищи». Суммарная хладонагрузка данных объектов по предварительным оценкам составляет порядка  $Q_{\text{потр}} = 12,4$  МВт.

В качестве тепловой схемы для решения поставленных задач предлагается схема ПГУ с холодильной машиной АХМ для производства холода при раздельной генерации.

Термодинамическая эффективность оценивалась по следующим показателям: энергетический и эксергетический КПД. Источником теплоты для АХМ (производства холода) являются дымовые газы, котла-утилизатора. Дымовые газы на АХМ отбираются из котла-утилизатора после первого контура, затем, отработав в АХМ, возвращаются обратно в котел-утилизатор перед газовым подогревателем конденсата (ГВТО).

При отборе дымовых газов на АХМ паропроизводительность котла-утилизатора и мощность паротурбинной части ПГУ, уменьшается. Отбор дымовых газов на АХМ в количестве 100%, не возможен ввиду нагрузки на ГВС. Расчет производился исходя из отбора дымовых газов (ДГ) на АХМ в пределах 0...75%.

## Схемы и режимы работы тепловых электрических станций

Расход ДГ на АХМ	0%		25%		50%		75%	
	+37	+15	+37	+15	+37	+15	+37	+15
Температура окружающей среды, °С								
Мощность электрическая ПГУ нетто, МВт	326,8	384,0	322,7	379,2	318,2	373,4	313,6	368,7
КПД нетто, %	47,48	48,04	48,45	48,98	49,54	50,06	50,73	51,24
Мощность ГТУ, МВт	224,6	278,9	224,6	278,9	224,6	278,9	224,6	278,9
Холодопроизводительность АХМ, МВт	-	-	17,12	19,47	35,28	40,39	53,69	61,9
Эксергетический КПД установки, %	48,87	51,53	50,26	52,73	51,88	54,10	53,52	55,65

Как показывают расчеты, использование низкопотенциальной теплоты блока с АХМ позволяет увеличить экономичность аналогичного блока без АХМ, на 2–3%. При возрастании отбора дымовых газов на АХМ, повышается холодопроизводительность и эксергетический КПД.

Проекты ПГУ-АХМ, не смотря на более низкие (по сравнению с альтернативными проектами) показатели финансово-экономических расчетов, являются перспективными технологиями, т.к. имеют высокие термодинамические, экологические и эксплуатационные показатели. А в условиях дефицита электрической мощности, могут оказаться незаменимыми технологиями производства одновременного тепла и холода.

### Литература

1. **В.В. Клименко** Оценка потребления электроэнергии на кондиционирование в Москве в условиях ожидаемых изменений климата // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 1, с. 2–6.
2. **А.В. Попов** Российские абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы нового поколения / А.В. Попов // Холодильная техника. — 2006. — № 6.

*К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

Традиционно мониторинг технического состояния и диагностику паротурбинной установки (ПТУ) выполняют путем оперативного диагностирования и диагностирования при ремонтах и регламентных проверках [1]. Одним из перспективных направлений исследований является разработка систем мониторинга и диагностики технического состояния паровой турбины по показаниям штатных контрольно-измерительных приборов с использованием математических моделей энергетического оборудования. Именно разработка таких систем диагностики состояния оборудования является целью предлагаемых исследований.

В задаче диагностики технического состояния проточной части ПТУ в качестве входной информации используется вектор показаний штатных контрольно-измерительных приборов [2]:

$$X = \{ N, p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_n \}, \quad (1)$$

где  $N$  — электрическая мощность паровой турбины;  $p_j$  — давление пара на входе в  $j$ -ый отсек;  $n$  — общее количество отсеков.

Задача диагностики состояния формулируется и решается как оптимизационная задача по минимизации суммы квадратов рассогласования рассчитанных [3] и замеренных параметров вектора (1). В качестве параметров оптимизации рассматриваются эффективные площади проходного сечения отсеков паровой турбины  $\varphi_j$ .

Для решения сформулированной оптимизационной задачи использовались методы покоординатного спуска (МПС) и генетического алгоритма (ГА). Анализ результатов показал, что использование ГА и МПС позволяет во всем рассматриваемом диапазоне изменения электрической нагрузки от 152 до 300 МВт определить  $\varphi_j$  с относительной погрешностью 6.7 и 2.1 % соответственно.

### **Литература**

1. Технические средства диагностирования: Справочник / Ключев В.В. и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
2. Биргер И.А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 239 с.
3. Бубнов К.Н., Жуков В.П., Горшенин С.Д., Барочкин Е.В. Математическая модель расходных характеристик паротурбинных установок // Вестник ИГЭУ. — 2022. — № 5. — С. 72–79.

*К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

## **УЧЕТ СОСТОЯНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ЕЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Главным источником информации для планирования режимов работы генерирующего оборудования тепловых электростанций (ТЭС) являются нормативные энергетические характеристики, разработка которых осуществляется в соответствии с требованиями руководящих документов [1]. В течение эксплуатации техническое состояние генерирующего оборудования ТЭС ухудшается из-за естественного физического износа, неудовлетворительных условий эксплуатации и технического обслуживания. В данных условиях актуальной является задача разработки методики построения энергетических характеристик с учетом фактического состояния оборудования ТЭС. Одним из возможных решений данной задачи является использование для актуализации энергетических характеристик математических моделей оборудования ТЭС. В предлагаемой работе для этого используется разработанная ранее матричная математическая модель паротурбинной установки Т-100/120-130 [2]. С целью определения актуализированных энергетических характеристик для каждого цилиндра паровой турбины в модели была использована следующая зависимость внутреннего относительного КПД:

$$\eta_{oi}/\eta_{oi,0} = 1 - a_1(1 - \varepsilon/\varepsilon_0)^2 - a_2(1 - \varepsilon/\varepsilon_0)^3, \quad (1)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — эмпирические актуализированные коэффициенты, значения которых определяется типом турбины и текущим состоянием ее проточной части;  $\varepsilon = p_{j+1} / p_j$  — отношение давлений;  $p_j$  — давление пара на входе в  $j$ -ый цилиндр; индексы:  $j$  — номер цилиндра,  $o$  — базовый режим.

Проведенный статистический анализ полученных данных показал, что для режима с одноступенчатым подогревом сетевой воды при давлении пара в камере нижнего теплофикационного отбора  $1 \text{ кгс/см}^2$  относительное отклонение результатов расчета от экспериментальных данных составило 4.1% во всем диапазоне изменения электрической и теплофикационной нагрузок.

### **Литература**

1. РД 34.08.552-95. Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования: разработ. АО «Фирма ОРГРЭС»; утв. Министерством топлива и энергетики.
2. Бубнов К.Н., Барочкин А.Е., Жуков В.П., Ледуховский Г.В. Методика расчета энергетических характеристик теплофикационной турбины с учетом экономичности части низкого давления // Вестник ИГЭУ. — 2020. — № 2. — С. 5–13.

*Йе В.А. асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИШОФИТА В КАЧЕСТВЕ ТЯЖЕЛОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ СОЮЗ МЬЯНМА**

Согласно данным за 2017-2018 годы, коэффициент электрификации на территории Республики Союз Мьянма составлял 29% в городских районах, 25,54% — в сельских районах. Чтобы электрифицировать всю страну, в 2014 году правительство Мьянмы разработало план электрификации, направленный на достижение значения коэффициента в 100%, в рамках которого предполагается значительно увеличить количество угольных ТЭС [1]. При сжигании угля выделяются летучие золы и шлака, которые зависят от содержания зольности на рабочую массу от состава исходного угля. Для уменьшения выбросов может быть использована предварительная переработка твердого топлива.

В рамках переработки энергетического угля гравитационное обогащение в тяжелых средах наиболее эффективный и простой способ по сравнению с другими методами обогащения. При использовании обогащения углей в тяжелых средах в качестве тяжелой среды применяют водопесочную и магнетитовую суспензии [2], и подземные природные хлоридные натриевые рассолы [3]. Недостатками водопесочной и магнетитовой суспензии являются высокие затраты при эксплуатации, трудность подготовки к суспензии, требует постоянной гомогенизации, требует обновления при эксплуатации и имеется унос частиц-утяжелителей в концентрат. Недостатком при использовании подземного природного хлоридно-натриевого рассола является малый диапазон плотности разделения и низкие значения плотности. Перечисленные выше проблемы автором предлагается решить с применением растворов бишофита, как более плотной однофазной среды.

### **Литература**

1. Myanmar National Electrification Program (NEP) Roadmap and Investment Prospectus, Final Road Map and Investment Prospectus, September 2014. — 78 pp.
2. **В.М. Авдохин** «Обогащение углей»: учебник для вузов в 2 т. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. Т. № 1. — 424 с.
3. **Х.Н. Аунг и другие** «Оценка возможности применения подземных природных хлоридных натриевых рассолов в рамках реализации процессов гравитационного обогащения энергетических углей Республики Союз Мьянма». // Научно — технический журнал «Энергосбережение и Водоподготовка», № 6 (134), декабрь 2021, ISSN 1992-4658, Стр. 4–9.

*К.М. Аунг, асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА-КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ**

Применение Na-катионитных фильтров в системе ТЭС решает следующие задачи: подготовка воды тепловых сетей, добавочной воды для маломощных котельных и районных тепловых станций и т.д. [1]. Для регенерации Na-катионитных фильтров на данный момент применяются: техническая соль NaCl, подземные природные хлоридные натриевые рассолы; таблетированная поваренная соль; и т.д. Наиболее распространёнными способами регенерации Na-катионитных фильтров является регенерация технической солью и подземными природными хлоридными натриевыми рассолами.

В представленной работе автором предложено применение сточных вод Na-катионитных фильтров в процессе обогащения энергетических углей в качестве тяжёлой среды гравитационного сепаратора корытного типа. Основным показателем разделения для гравитационных методов обогащения является плотность. От её значений зависит «глубина» и эффективность обогащения. Na-катионитный фильтр регенерировался природными подземными хлоридными натриевыми рассолами в соответствии с требованиями, представленными в [2]. Процесс регенерации лабораторной Na-катионитной колонки продолжался 30 минут, затем осуществлялась отмывка. Собранные сточные воды применялись в лабораторном сепараторе для моделирования процесса обогащения. После в соответствии с ГОСТ 55661-2013 определялась зольность в угле (исходный уголь концентрат и отходы). По итогам работы наиболее подходящей тяжёлой средой для процессов обогащения энергетических углей являются сточные воды Na-катионитного фильтра, полученные в первые 15 минут процесса отмывки (плотность 1163–1165 кг/м<sup>3</sup>).

По итогам работы были сформулированы рекомендации по применению в качестве тяжёлой среды сточных вод Na-катионитных фильтров в процессе обогащения энергетических углей. Для углей с зольностью менее 15% применение сточных вод в качестве тяжёлой среды в процессах обогащения будет низкоэффективным методом. Предложенный метод обогащения (с использованием сточных вод Na-катионитных фильтров в качестве тяжёлой разделительной среды) рекомендуется использовать для углей с повышенной зольностью, при условии преимущественно силикатного состава минеральной части угля.

### **Литература**

1. М.Ю. Калининченко, И.А. Гейвандов, Д.В. Аборнев «Исследование характеристик процессов регенерации при натрий-катионитовом умягчении минерализованных вод», Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2012, №2 (31), с. 12–18.
2. И.А. Бураков, А.Ю. Бураков, И.С. Никитина, С.Д. Федорович, С.В. Аладушкин, А.С. Илюшин «Разработка и обоснование рекомендаций по применению подземных природных рассолов для регенерации параллельноточных натрий-катионитных фильтров», «Новое в российской электроэнергетике», № 11, 2018 г., стр. 15–24.

*И.И. Побережец асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **О ПРИНЦИПАХ ВЫБОРА СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ НА ОРЭМ**

Выбор состава включенного генерирующего оборудования в рамках системы отличается от выбора состава оборудования в пределах станции, так как меняются цели, задачи и критерии. Основными критериями выбора состава включенного оборудования в рамках системы является обеспечение надежности энергосистемы и надежное и экономичное энергоснабжение потребителя.

Критерием выбора состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО) для конкретного источника электроэнергии в условиях работы на оптовом рынке электроэнергии и мощности является доходность его эксплуатации на каждом конкретном периоде.

При этом оценка выбора состава оборудования становится достаточно формализованной процедурой, если с большой достоверностью известна ожидаемая цена электроэнергии на рынке на данный период. Цена на электроэнергию зависит от множества внутренних и внешних факторов, изменяющихся во времени. На суточных графиках выделяют максимумы и минимумы, обычно нагрузка и соответствующая ей цена имеют минимум в ночные часы, а максимум — в утренние и вечерние часы. При построении недельных графиков минимальные значения имеют выходные дни. При рассмотрении годового графика нагрузки имеет место регулярное снижение нагрузки в летний период, но в этом случае, цены на электроэнергию растут, так как происходит существенное снижение выработки электроэнергии в комбинированном цикле. Такого рода колебания определяются циклами природных явлений (ночь, лето), технологическими особенностями энергопотребления и т.п.

В данной работе рассматриваются подходы к прогнозированию цены электроэнергии определяемой с помощью использования нейронных сетей [1]. Для повышения надежности прогноза, статистические данные подлежащие обработке по ценам электроэнергии, делятся по времени суток, по типам дня (рабочие, выходные дни, по климатическим зонам, а также по временам года). В этом случае, обучение нейронных сетей ведется для каждого конкретного периода. Проверка достоверности модели путем ретроспективного анализа, показала высокую степень достоверности, выше 95%. В настоящее время идет уточнение прогнозной оценки путем разбивки года на более узкие периоды.

### **Литература**

1. **Зуева В.Н.** Нейросетевое прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы. / В.Н. Зуева // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 8. С. 286–290.



*Д.А. Лымарев, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент. («НИУ «МЭИ»)*

## **ОБ ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОВАЛОВ НАГРУЗКИ**

Необходимость покрытия графиков потребления электроэнергии, характеризующихся суточной и сезонной неравномерностью, является одной из основных проблем в энергетике. Увеличение доли бытовых нагрузок в энергопотреблении, а также доли АЭС и ВИЭ в составе установленной мощности усложняет процесс регулирования мощности. При этом вся тяжесть регулирования ложится на ТЭС, регулировочный диапазон которых оказывается недостаточным.

Для расширения регулировочного диапазона ТЭС может быть использован процесс получения водорода методом электролиза воды и его последующего использования [1]. При использовании данного способа появляется возможность прохождения провала нагрузки без снижения выработки электрической и тепловой энергии. Избыток вырабатываемой электроэнергии в таком случае затрачивается на производство водорода. Получаемый водород в дальнейшем может сжигаться в топке котла, вытесняя мазут, используемый для подсветки твёрдого топлива, или может быть использован в топливном элементе для получения дополнительной электроэнергии в часы пиковых нагрузок, а также как товарный продукт.

Получение водорода в часы провала нагрузки позволяет обеспечивать глубокое (более 50%) разгружение ТЭС, а использование полученного водорода в топливных элементах дает возможность производства дополнительной мощности в пиковые часы. При этом сохраняется наиболее экономичный режим работы ТЭС и сокращается число разгрузений-нагрузений.

На экономическую эффективность системы аккумулирования водорода наиболее существенное влияние оказывают удельные затраты электроэнергии на производство водорода в электролизере, КПД топливных элементов, капитальные затраты на используемое оборудование, а также стоимость топлива на ТЭС. Проведенные исследования показали возможность эффективного получения и использования водорода при снижении удельных затрат  $\text{э/э}$  на производство водорода на уровне 3,8–3,5 кВтч/м<sup>3</sup>.

Наибольшая эффективность достигается при использовании перспективных обратимых топливных элементов. В этом случае срок окупаемости не превышает 10 лет.

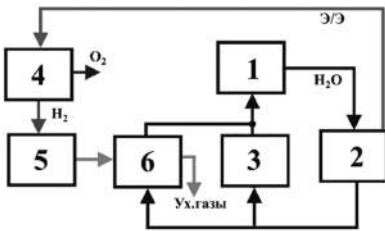
### **Литература**

1. Монография. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С.И. Козлов, В.Н. Фатеев; под ред. Е.П. Велихова; Открытое АО «Газпром», О-во с ограниченной ответственностью «Газпром ВНИИГАЗ» — Москва: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. — 518 с.

*М.В. Опарин, асп.; Д.С. Ковалёв, асп.;  
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, г. Москва)*

## ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫЕ АЭС С ВОДОРОДНЫМИ ГАЗОТУРБИНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Переход к водородному топливу позволяет существенно снизить выбросы углекислого газа в атмосферу при производстве электроэнергии, а также повысить маневренные характеристики энергетических установок. Водород может быть получен методом электролиза с использованием энергии от ВИЭ, АЭС или ГЭС [1]. В свою очередь, произведенное топливо можно впоследствии направить на производство электроэнергии с использованием топливных элементов или водородных газотурбинных установок.



**Рис. 1.** Схема АЭС с водородными ГТУ:  
1 — реактор; 2 — ПТУ; 3 — система  
регенеративного подогрева;  
4 — электролизер; 5 — ГТУ; 6 — ГВТО

за счет утилизации теплоты уходящих газов водородной ГТУ в газодводяном теплообменнике (ГВТО).

Работа выполнена в рамках проекта “Разработка перспективных энергетических комплексов для производства электроэнергии и водорода с минимальными выбросами вредных веществ в атмосферу” при поддержке гранта НИУ “МЭИ” на реализацию программ научных исследований “Энергетика”, “Электроника, радиотехника и IT” и “Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехники” в 2022–2024 гг.

### Литература

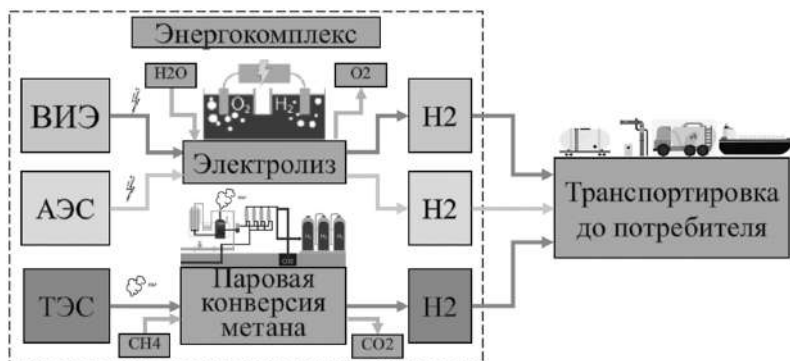
1. **Зонов А.С., Ковалев Д.С., Киндра В.О.** Экологически безопасная технология совместного производства водорода и электроэнергии на органическом топливе // Технологии будущего. Москва: ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021. С. 6–6.

*М.В. Опарин, Д.С. Ковалев, аспиранты;  
А.С. Мальцев, студ.;  
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, г. Москва)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВКИ ВОДОРОДА ПОТРЕБИТЕЛЮ**

Переход на водородное топливо является одним из ключевых трендов развития энергетики и транспорта в мире. Технологии производства, хранения и транспортировки водорода определяют конечную себестоимость его поставки потребителям [1].

В настоящей работе рассмотрены перспективные цепочки поставки водородного топлива (рис. 1) и разработан алгоритм оптимизации их структуры в обеспечение минимизации себестоимости. Установлено, что при наличии квот на выбросы диоксида углерода комбинация тепловых электрических станций на базе кислородно-топливного цикла с паровым конвертером метана обеспечивает минимальные издержки на производство водорода.



**Рис. 1.** Перспективные цепочки поставки водорода

Работа выполнена в рамках проекта “Разработка перспективных энергетических комплексов для производства электроэнергии и водорода с минимальными выбросами вредных веществ в атмосферу” при поддержке гранта НИУ “МЭИ” на реализацию программ научных исследований “Энергетика”, “Электроника, радиотехника и IT” и “Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехники” в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Зонов А.С., Ковалев Д.С., Киндра В.О.** Экологически безопасная технология совместного производства водорода и электроэнергии на органическом топливе // Технологии будущего. Москва: ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021. С. 6–6.

*А.А. Зайцев, студ.; рук. О.Г. Брюнина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РЫНКА ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ**

На объекты распределенной генерации в России приходится около 7% общего объема выработки электроэнергии [1], что в два раза ниже мирового масштаба. Актуальным остается запрос на аналитическую оценку развития рынка газопоршневых установок как наиболее востребованными агрегатов в малой энергетике.

По расчетам DISCOVERY Research Group объем рынка газопоршневых установок в 2020 году в стоимостном выражении составил \$103141 тыс, а объем производства газопоршневых установок (ГПУ) составил 129 шт. [1].

Газопоршневые двигатели производятся на заводах: ЯМЗ ТМЗ, АО Волгодизельмаш, Газэнергомаш, КАМАЗ и т.д., имеющих собственное производство или осуществляющих конверсию ДВС на газ и сборку комплектующих.

В качестве основы газопоршневого двигателя производители обычно используют дизельные двигатели. В таких двигателях из-за особенности сгорания газозооной смеси сильно увеличивается теплонапряженность цилиндрико-поршневой группы, головки цилиндров и клапанных узлов, что приводит к снижению ресурса двигателя и клапанных узлов, и, в некоторых случаях, к выходу его из строя.

Двигатели, в конструкцию которых вносятся изменения, сильно перегреваются, в них прогорают клапаны; поэтому требуется повышенный контроль работы такой установки, частое техническое обслуживание [2].

В настоящее время многие комплектующие (системы управления, литые детали, топливная аппаратура, агрегаты наддува пр.) для газопоршневых двигателей и ГПУ — импортного производства, что приводит к росту себестоимости установки.

По результатам анализа перспективы развития рынка сделан основной вывод: необходимо развивать рынок ГПУ на базе газопоршневых двигателей, спроектированных изначально для сжигания газа; расширять отечественное производство комплектующих. Увеличивать единичную мощность двигателей, так как в России мощность производимых ГПУ менее 1.5 МВт, в то время как наибольшую долю продаж занимают агрегаты мощностью 1–4 МВт.

### **Литература**

1. <https://drgroup.ru/2587-analiz-rynka-gazoporshnevyyh-ustanovok-v-Rossii>
2. <https://dizelnye-generatory.com/poleznaya-informatsiya/gazoporshnevyye-elektrostantsii-rossiyskogo-proizvodstva-yamz-tmz-daewoo-dosan-kamaz/>

И.А. Максимов, М.В. Опарин, асп.; Е.Н. Сабанова, студ.;  
рук. В.О. Киндра, к.т.н., доц. (НИУ “МЭИ”)

## АЛГОРИТМЫ МИНИМИЗАЦИИ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Высокая себестоимость электроэнергии — одна из ключевых проблем на пути внедрения перспективных энергоустановок [1]. Энергетическая эффективность, определяющая топливные издержки, и стоимость основного оборудования, влияющая на амортизационные издержки, в совокупности определяют перспективы создания инновационных энергетических комплексов в условиях рынка. Поэтому выбор термодинамических параметров тепловых схем энергоустановок и конструкторских характеристик основного оборудования целесообразно осуществлять на основе проведения технико-экономического анализа.

Для решения указанной задачи авторами был разработан и апробирован алгоритм минимизации себестоимости электроэнергии для циклов на низкокипящем теплоносителе за счет совокупной оптимизации структуры и параметров тепловых схем, а также конструктивных параметров основного энергетического оборудования (рис. 1). В частности, были определены оптимальные значения недогрева и потерь давления в регенераторе органического цикла Ренкина, позволяющие обеспечить максимальную экономическую эффективность отпуска электроэнергии (которая напрямую определяется стоимостью регенератора и термодинамической эффективностью цикла). При недогреве в регенераторе 25°C и допустимых потерях давления 2% от входного достигается максимальный чистый поток платежей.

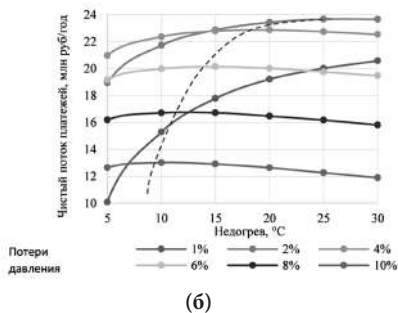
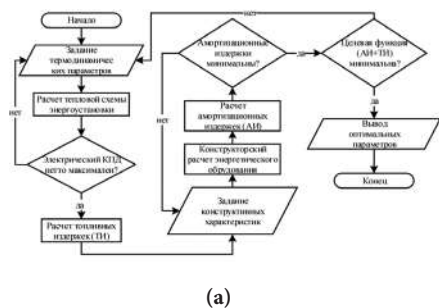


Рис. 1. Общий алгоритм минимизации себестоимости электроэнергии  
(а) алгоритм оптимизации; (б) результаты оптимизации

Исследование выполнено в НИУ “МЭИ” при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта № 21-79-00262.

### Литература

1. Тринарные энергетические циклы для высокоэффективного производства электроэнергии из ископаемого топлива / В.О. Киндра, В.Ю. Наумов, Н.С. Скляр [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. — 2022. — № 4. — С. 7–25.

*О.А. Евдокимов, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПГУ-420Т С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Существуют различные способы повышения экономичности газотурбинных установок: охлаждение циклового воздуха перед компрессором, впрыск воды и пара в камеру сгорания, модернизация конструктивных частей ГТУ [1]. Один из путей — применение испарительных установок для охлаждения циклового воздуха перед компрессором ГТУ [1]. Такие установки используются на ТЭЦ-12, 16, 20 ПАО «Мосэнерго». На ТЭЦ-16 в состав энергоблока ПГУ-420Т входят газотурбинная установка SGT5-4000F, паровая турбина SST5-5000 и трехконтурный котел-утилизатор «ЭМАльянс». При температуре наружного воздуха выше 12 °С включается в работу испарительная установка, которая охлаждает атмосферный воздух перед компрессором за счет испарения воды на специальных кассетах перед фильтрующими пакетами КВОУ ГТУ [2].

В Москве средняя летняя температура воздуха составляет 22 °С при относительной влажности около 60%. При данных условиях был выполнен расчет тепловой схемы энергоблока ПГУ-420Т на полной нагрузке (ВНА = 100%) в программном комплексе «Thermoflow». В схеме без испарительной установки мощность ГТУ составила 265,4 МВт, КПД ГТУ — 39,07%. При включении испарительной установки температура перед компрессором снизилась до 17,2 °С; мощность ГТУ выросла до 274,3 МВт; КПД ГТУ — до 39,31%.

Имеют место и отрицательные факторы, снижающие экономический эффект от работы испарительной установки: прямая зависимость от прогноза погоды, диспетчерского графика, останова энергоблока в летнее время, износ испарительных кассет. При использовании городской воды возникают накипные и органические отложения, требуется высокий расход воды на продувку системы, а использование химически обессоленной воды — это дополнительные затраты. Окончательное решение — это вопрос технико-экономической оптимизации.

### **Литература**

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева — М.: Издательство МЭИ, 2002.
2. **О.А. Евдокимов, В.Д. Буров.** Система охлаждения воздуха на всасе компрессора ГТУ SGT5-4000F с естественным испарением воды. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 27-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. Докл. — М. 2021. С. 918.

*Секция приурочена к 80-летию кафедры Автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ»*

*The section is dedicated to the 80th anniversary of the Department of Automated Control Systems of Thermal Processes of NRU "MPEI"*

**Секция 47**  
**КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**И УПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**  
**Monitoring, automation, and control**  
**in power engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Мезин Сергей Витальевич*

*Секретарь секции: Фарафонов Георгий Викторович*

*К.А. Кобзева, студ.;*  
*рук. А.А. Калашников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ДЕКОДЕРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ**

Стремительный рост числа измерительных каналов (ИК) на современных АЭС обуславливает потребность в автоматизированных системах метрологического обеспечения АСУТП [1]. Создание таких систем требует решения целого комплекса исследовательских и конструкторских задач, одной из которых является разработка программного декодера и рассматривается в данной работе. Данный декодер позволяет идентифицировать режим автоматизированной поверки ИК и отключить на это время работу автоматических регуляторов и защит.

В настоящей работе приводятся результаты разработки программного декодера, выполненной посредством моделирования работы датчиков и программно-технических комплексов АСУТП АЭС в среде MatLab Simulink. Представлены общее описание цифровых технологий и компоновка систем автоматизированного метрологического обеспечения с учётом разработанного программного декодера.

Представленные в исследовании технологии и системы автоматизированного метрологического обеспечения АСУТП с программным декодером позволяют выполнять автоповерку и калибровку ИК без отключения датчиков от технологического процесса. Применение таких систем позволяет автоматизировать метрологическое обслуживание ИК и повысить промышленную безопасность за счёт исключения рисков ложных срабатываний автоматических защит, блокировок и сигнализаций в процессе поверки и калибровки ИК [2].

### **Литература**

1. **Калашников А.А.** Передача информации с эталонной диагностикой данных // Автоматизация в промышленности. 2020. — № 12. — С. 8–13.
2. **Калашников А.А.** Пат. 2749304 RU Способ определения метрологических характеристик измерительного канала (варианты).



*А.Ю. Толок, А.И. Плешакова, А.С. Попова, студенты;  
рук. М.С. Иваницкий, доц., д.т.н. (ВФ МЭИ)*

## **МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ**

Эксплуатация основного энергетического оборудования предусматривает необходимость проведения контроля и непрерывного мониторинга технологических параметров с целью обеспечения надежной работы тепловых электрических станций. Контроль параметров работы генерирующих систем в режиме реального времени позволяет достоверно определять основные показатели надежности, а также прогнозировать техническое состояние, ресурс и находить пути продления остаточного ресурса оборудования. Следует отметить, что наиболее повреждаемыми элементами котельных установок являются конвективные пароперегревательные поверхности нагрева. При работе паровых турбин значительная доля отказов возникает вследствие технологических нарушений функционирования системы регулирования, парораспределения, выходу из строя подшипников, трубопроводов и арматуры [1–3].

Авторами выполнена разработка алгоритма системы мониторинга параметров энергетического оборудования для прогнозирования технического состояния и продления ресурса объектов теплоэнергетики на основе статистических данных о технологических отказах основных элементов и функциональных узлов котельных установок, паровых и газовых турбин. Результаты выполненного исследования могут быть использованы энергетическими предприятиями при комплексном обосновании программы ремонтной деятельности с учетом фактического технического состояния котельных и паротурбинных установок, определении показателей надежности элементов и функциональных узлов основного оборудования тепловых электрических станций.

### **Литература**

1. **Труханов В.М., Тарнаев А.Г.** Надежность и диагностика сложных систем: учебник / В.М. Труханов, А.Г. Тарнаев; под общ. ред. В.М. Труханова. — М.: Издательский дом «Спектр», 2016. — 175 с.
2. **Гаев А.В., Данюшевский И.А., Шевчук Р.Э., Журавлев Д.Н.** Разработка методики оценки надежности и безопасности тепломеханического оборудования // Надежность и безопасность энергетики. 2015. — № 2(29). — С. 65–69.
3. **Грабчак Е.П., Логинов Е.Л.** Цифровые подходы к управлению объектами электро и теплоэнергетики с применением интеллектуальных киберфизических систем // Надежность и безопасность энергетики. 2019. — Т. 12. — № 3. — С. 172–176.

*К.О. Мацко, студ.; рук. А.А. Орлов к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМЫ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПО СОСТОЯНИЮ ДЛЯ АСУТП ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

Несмотря на применение современных систем управления, не удастся обеспечить достаточный уровень надежности оборудования АСУ ТП объектов тепловой энергетики для безотказной эксплуатации без проведения персоналом специальных работ, обеспечивающих поддержание работоспособности оборудования. Чтобы это обеспечить и минимизировать затраты применяют передовые методы и стратегии в программах технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по состоянию.

В работе проведен анализ литературных источников в области методах и системах обслуживания оборудования. К методам профилактического технического обслуживания относится стратегия прогностического обслуживания PdM (Predictive Maintenance) [1]. Прогностическое обслуживание обеспечивает проведение только необходимых работ в рамках ТОиР. Эта стратегия реализуется на основе исходных данных, собираемых от систем, имеющихся на объекте энергетики (например, SCADA и АСКУЭ) [2]. Полученные данные позволяют определить техническое состояние оборудования, реализовать прогнозирование появления дефектов, отклонения в режимах функционирования, а также возникновение сбоев и отказов. Данные поступают в режиме реального времени, без остановки эксплуатируемого оборудования [3]. Система прогностического обслуживания увеличивает срок технических средств АСУ ТП за счет устранения неисправностей на ранней стадии, сокращает внеплановые дорогостоящие простои и предотвращает возникновение отказов и аварийных ситуаций.

В работе исследуется стратегия прогностического обслуживания и ремонта, которая обеспечивает высокий уровень надежности. Проанализирована применимость и показана структура системы на примере конкретной единицы оборудования.

### **Литература**

1. **Решетников С.О., Иванов С.Л., Абашев А.Р.** Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта технологического оборудования нефтеперерабатывающих предприятий. 2017. С. 109–114.
2. **Андрюшин А.В., Щербатов И.А., Цуриков Г.Н., Титов Ф.М.** Система предиктивной аналитики для энергетических объектов. — МЭИ.: 2019.
3. **Южно В.Е., Панько В.С.** Разработка методики и программного обеспечения для ежедневного автоматизированного планирования ремонта оборудования. — SIBCON.: 2017.

*Е.В. Илюхина, студ.;*

*рук. Н.В. Байдакова, доц., к.т.н. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

## **МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Повышение уровня надежности эксплуатации котельных установок является одним из первостепенных аспектов стабильной работы основного технологического оборудования ТЭЦ. В связи с этим, разработка методов оценки и прогнозирования надежности котельных установок ТЭЦ с учетом фактического технического состояния элементов и ресурсоопределяющих функциональных узлов основного оборудования является целью настоящего исследования. Для достижения поставленной цели сформулированы основные задачи исследования, направленные на разработку методического подхода к оценке надежности эксплуатации основного энергетического оборудования теплоэлектроцентралей с применением методов машинного обучения (нейросетевой модели) [1].

Автором выполнены сравнительные оценки показателей надежности по статистическим данным и результатам, полученным посредством применения предлагаемой обучающейся нейросетевой модели. Следует отметить, что при проведении обучения нейросетевой модели могут быть выявлены недостатки, связанные с низкой достоверностью или отсутствием представительной выборки статистических данных по технологическим отказам котельных установок, что в значительной степени определяет точность прогнозируемых величин.

Полученные результаты могут быть использованы при создании современных систем мониторинга и диагностики энергетического оборудования, ее элементов, необходимых для осуществления сбора, хранения, архивации данных с учетом фактического технического состояния конкретного элемента единицы оборудования и качественного прогнозирования показателей надежности оборудования с целью обеспечения высокого уровня безопасности и экономичности эксплуатации энергетических систем.

### **Литература**

1. **Наумов С.А.** Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования / С.А. Наумов, А.В. Крымский, М.А. Липатов, Д.Н. Скрабатун // Теплоэнергетика. — 2018. — № 4. — С. 21–33.

*М.Е. Шевченко, студ.;*  
*рук. И.А. Болдырев, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Контроль технического состояния оборудования по текущим параметрам технологического процесса является актуальным в настоящее время. В следствие роста доступности технологии больших данных вопросы контроля технического состояния могут быть дополнены предиктивным анализом.

Системы контроля и предиктивного анализа состояния оборудования основаны на применении статистических методов обработки сигналов. Целью таких систем является определение аномальных режимов работы оборудования на ранних стадиях зарождения дефекта. Выделим задачи, которые необходимо решить для осуществления поставленной цели:

1. очистка выборки от аномалий и недостоверных данных;
2. определение переходных процессов;
3. определение предаварийных ситуаций.

Основными статистическими методами исследования сигналов являются: метод выделения тренда (временного сглаживания), регрессионный, автокорреляционный, адаптивный (скользящих средних), метод гармонического анализа, сингулярного спектрального анализа, бутстрепа (численного размножения выборок) и нейросетевой [1].

На основании проведенного анализа были выявлены наиболее значимые для контроля технологические параметры, апробированы статистические методы по поиску аномалий в сигналах, а также поиска границ переходных процессов, получены критерии оценки аномальных режимов. При проведении анализа сигналов не рассматривался их физический смысл.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

### **Литература**

1. **Газизов Д.И.** Обзор методов статистического анализа временных рядов и проблемы, возникающие при анализе нестационарных временных рядов // Научный журнал. — 2016. — №. 3 (4).

*И.М. Молотов, асп.; М.Р. Масленникова, студ.;  
рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ С ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ**

В связи с возрастающим антропогенным воздействием на экологию планеты в настоящее время проводится климатическая политика по вводу установленных мощностей, генерируемых возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) [1]. Генерация ВИЭ имеет существенную неоднородность во времени, поэтому она должна поддерживаться системой накопления энергии. Сегодня водород рассматривается как эффективный и экологически чистый энергоноситель будущего. В принятой Концепции развития водородной энергетики отмечается, что расширение использования ВИЭ и развитие водородных технологий будет способствовать пространственному развитию страны [2]. В условиях автономного энергоснабжения удалённых объектов народного хозяйства наиболее эффективным может стать комбинированное электроснабжение на основе ВИЭ с водородно-воздушным аккумулированием энергии.

Целью данной работы является разработка и программная реализация имитационной модели динамики баланса энергии с пользовательским интерфейсом на интервале до года и больше для автономной электростанции малой мощности с солнечно-ветровой когенерацией и водородным аккумулированием энергии, где для вторичной выработки энергии используются топливный элемент и водородно-кислородный воздухонагреватель совместно с газовой микротурбиной.

В результате работы частично разработаны и будут получены: система автоматического регулирования, обеспечивающая покрытие графика энергопотребления; экономическая и экологическая оценка водородно-воздушной системы аккумулирования; первичные данные по дальнейшей оптимизации системы управления с целью минимизировать капитальные и эксплуатационные расходы; данные компьютерных экспериментов, на основе которых будут сформулированы основные технические требования по созданию энергоустановки с использованием технологии водородно-воздушного аккумулирования энергии.

### **Литература**

1. **Manni M. et al.** Shaping multi-level energy and climate policy within the set plan framework // Sustainability. — 2020. — Т. 12. — №. 22. — С. 9545.
2. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 5.08.2021 г. № 2162-р.

*Д.М. Красненко, аспирант;  
рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ АГРЕГАТНОГО И БЛОЧНОГО УРОВНЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЭС, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ АСУТП**

Анализ современного состояния АСУТП ТЭС на базе современных ПТК выявил проблему недостаточного уровня интеллектуальности процессов регулирования и управления, особенно в части управления производственными процессами на блочном и агрегатном уровнях. Еще одна важная проблема — это низкая технико-экономическая эффективность производства энергии из-за отсутствия в прикладном программном обеспечении (ППО) ПТК алгоритмов решения оптимизационных задач.

В данной статье рассматриваются и предлагаются идеи для разработки и внедрения в прикладное программное обеспечение (ППО) ПТК интеллектуальных алгоритмов повышения качества регулирования и решения оптимизационных задач агрегатного, блочного уровней.

Определены критерии, определяющие перечень перспективных оптимизационных задач, реализация которых может способствовать повышению эффективности и интеллектуальности АСУТП.

Рассматриваются оптимизационные задачи управления АСУ ТП ТЭС, которые требуют интеллектуализации: распределение тепловой нагрузки между ПСГ-1 и ПСГ-2, распределение нагрузки между генерирующими единицами, размещение резерва мощности и др. Для решения перечисленных задач предложен методический подход к определению степени необходимой интеллектуализации технологических процессов на блочном и агрегатном уровне ТЭС [1].

Предложенные методические подходы определения целесообразности включения интеллектуальных технологий и оптимизационных алгоритмов в состав решаемых на блочном и агрегатном уровнях задач позволят определить оптимальный уровень интеллектуальности АСУТП среднего и нижнего уровня управления в рамках интеллектуальной АСУТП ТЭС. Изложенные в статье проблемы и возможные подходы и методы повышения интеллектуальности АСУТП ТЭС позволят значительно повысить эффективность и интеллектуальность АСУТП.

### **Литература**

1. **Аракелян Э.К., Андрюшин А.В. Мезин С.В., Сабанин В.Р., Косой А.А.** Подходы к повышению интеллектуальности АСУТП крупных электростанций путем решения оптимизационных задач блочного и станционного уровней. // Сборник трудов MLSД'2018 под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна, — 2018. — Том 2. — С. 315–322.

*И.А. Прохорович, студ.,; рук. В.В. Охотин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ С ПЕРСОНАЛОМ АЭС. ПОДГОТОВКА ВОПРОСОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

В результате сравнительного анализа требований к проведению работы с персоналом АЭС, изложенных в [1, 2], выявлено:

1. Отсутствия в [2] ряда требований, включая:
  - допустимость использования программного обеспечения для автоматизированной проверки знаний работников организации, п. 60 [1];
  - проведение производственного инструктажа как обязательной формы работы с оперативным, оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, п.п. 80–90 [1].
2. Отличия в оценке проверки знаний работника: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично», п. 59 [1] и «сдал», «не сдал», п. 93 [2].
3. Необходимость приведения в соответствие [2] требованиям [1] — п. 4 приказа Минэнерго России [1] прямо устанавливает распространение его положений на организации, владеющие АЭС, и их персонал.

При этом выявлено включение в [1] количественного значения величины неудовлетворительной оценки знаний — 30% неверных ответов от общего числа вопросов, п. 59 [1] — по аналогии с требованием [2] об успешном прохождении проверки знаний — более 70% правильных ответов, п. 93 [2], а также полезное уточнение в [2] отдельных положений, включая применение не общей оценки знаний работника по разделу «Устройство и техническая эксплуатация», а отдельных оценок знаний по подразделам.

Также в ходе работы были подготовлены вопросы для автоматизированного контроля знаний терминов и определений, используемых в основных правилах обеспечения эксплуатации атомных станций, и требований технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока ВВЭР-1200 с применением программной среды Python.

### **Литература**

1. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации, утв. приказом Минэнерго России от 29.10.20 № 796, зарегистрированы Минюстом России 18.01.21.
2. Правила организации работы с персоналом на атомных станциях, утв. приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» 19.05.15 № 9/513-П.

*Д.В. Тороп, студ.; рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

Общемировые тенденции энергосбережения и повышения энергетической эффективности выявляют необходимость разработки новых методов управления системами теплоснабжения и прогнозирования объёмов потребления тепловой энергии отдельными комплексами. Рассмотрена возможность применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для повышения качества регулирования отпуска тепловой энергии в системе теплоснабжения.

Как правило, в системах централизованного теплоснабжения используется центральное регулирование отпуска теплоты в зависимости от температуры наружного воздуха и суточного прогноза нагрузки [1]. При использовании данного метода невозможно учесть следующие факторы, влияющие на теплопотребление здания: влажность воздуха и воздушные потоки, приводящие к изменению величины теплопередачи ограждающих конструкций; возрастное ухудшение характеристик утепляющих материалов; интенсивность солнечной радиации и т.п. Из-за этого на практике существует значительное отклонение фактической мощности от планируемой. Наиболее перспективными из существующих на сегодняшний день методов и технологий прогнозирования являются те, которые основаны на применении нейронных сетей [2]. Для применения этого метода необходим анализ параметров, влияющих на энергопотребление и составление базы данных для создания и обучения нейросети. В процессе работы выявлены и обоснованы факторы, влияющие на теплопотребление микрорайона (климатические, технологические, социально-экономические и т.п.), а также составлен алгоритм проверки факторов на мультиколлинеарность.

Применение нейросетей позволяет учесть не менее 9 факторов, влияющих на теплопотребление объекта и снизить погрешность прогноза теплопотребления на 90–95%. Это дает возможность повысить эффективность систем теплоснабжения и снизить затраты на отопление.

### **Литература**

1. **Панов М., Хмелев И., Смирнов А.** Нейронные сети на службе энергетиков. // Открытые системы. СУБД. — 2016. — № 4.
2. **Аль Мохаммед.** Повышение точности краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки потребителей региона с учетом метеофакторов на основе метода опорных векторов: дис.. канд. техн. наук: 05.14.02 / Аль Мохаммед // — Н., 2015. — 181 л.



*Ш.М. Милитонян, аспирант;  
рук. П.В. Шамигулов, к.т.н., доц. (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ВЫСОКОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ И ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ**

На основе свободно распространяемой библиотеки с открытым исходным кодом Pandapower для языка программирования Python разработана методология и алгоритм анализа электрических сетей с точки зрения обеспечения надежности реализации заданных перетоков мощности с учетом вероятностей отказа элементов системы [1]. Задание на расчет (моделирование) и результаты расчета согласуются с базовыми алгоритмами и другими библиотеками языка Python, что позволяет использовать методы анализа, оптимизации и прогнозирования, доступные в данном языке программирования. Разработанный алгоритм позволяет определять потери электрической энергии в той или иной конфигурации сети, что позволяет выбирать оптимальную не только с точки зрения надежности, но и с точки зрения экономической эффективности конфигурацию электроэнергетической системы для работы в режиме резервирования в случае отказа какого-либо энергетического оборудования. Алгоритм может использоваться для планирования конфигурации электроэнергетической системы на время проведения ремонтов оборудования, требующих отключения части энергосистемы. Данный алгоритм позволит оптимизировать совокупные затраты в энергосистеме в целом на организацию ремонтов оборудования, связанных с отключениями (как плановыми, так и внеплановыми) в энергосистеме.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 “Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий”.

### **Литература**

1. Recent Developments in Open Source Simulation Software pandapower and pandapipes / R. Bolgaryn, G. Banerjee, D. Cronbach [et al.] // 1st International Workshop on Open Source Modelling and Simulation of Energy Systems, OSMSES 2022 — Proceedings: 1, Aachen, 04–05 апреля 2022 года. — Aachen, 2022. — DOI 10.1109/OSMSES54027.2022.9769084. — EDN BOHCRA.

А.Д. Моисеева, студ.;  
рук. Е.И. Мерзликина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АСР ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ SIMINTECH

Обеспечение экономичного режима работы котла для получения пара необходимого качества — основная задача регулирования процесса горения. Качество процесса регулирования зависит от выбранной схемы регулирования и от настроек регулятора.

В данной работе рассматривается АСР экономичности процесса горения с учетом изменения характеристик объекта при изменении нагрузки блока [1], настройка АСР производилась по методике, изложенной в [2, 3], моделирование АСР с учетом изменения параметров объекта при изменении нагрузки блока (и, соответственно, необходимости перенастраивать АСР) выполнено в пакете SimInTech.

Путем сравнения качества регулирования в АСР с постоянными настройками регулятора и в АСР с изменяющимися в зависимости от режима работы настройками был проведен анализ целесообразности применения данной схемы.

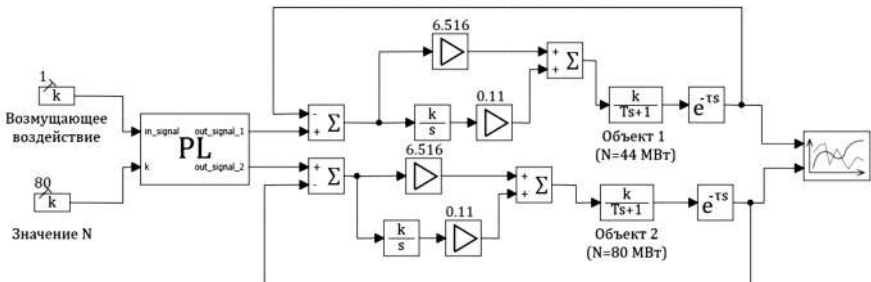


Рис. 1. Схема переключателя настроек регулятора в зависимости от нагрузки котла

### Литература

1. Плетнев Г.П. Экспериментальное определение динамических характеристик энергоблока 80 МВт по каналам регулирующих и возмущающих воздействий // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: Тр. Международ. науч. Конф.-М.: Издательство МЭИ, 2003.
2. Панько М.А. Расчет автоматических систем регулирования с дифференцированием вспомогательной регулируемой переменной. Теплоэнергетика, 1998, № 10.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*С.А. Сильянов, К.А. Юричковский, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГАЗОВОМ ТРАКТЕ КОТЛА**

Сейчас особо актуальна проблема цифрового моделирования сложных технических систем. Примером такой системы является тепловая электрическая станция (ТЭС), в процессе моделирования которой необходимо принимать во внимание совокупность оборудования и процессов, влияющих на её работу. Для этого используются тренажеры оперативного персонала, позволяющие углубить знания режимов работы оборудования, способствующие более полному пониманию технических процессов работы станции. Используемая в тренажерах оперативного персонала компьютерная цифровая модель позволяет провести быстрый и достаточно точный расчёт рабочего режима в условиях реального времени. Среди отечественных программных систем, направленных на создание подобных моделей [1], наибольшее распространение получила SimInTech. Специальная среда разработки, применяемая для создания аналитических и полномасштабных тренажёров, а также для обучения оперативного персонала в нефтегазовой, энергетической, транспортной и других сферах.

Моделирование реального объекта можно условно разбить на два этапа. На начальном этапе традиционные тренажёры работают в автономном режиме, то есть без подключения существующей системы. Однако, такая автономная модель не способна точно повторить алгоритмы управления объектом, а также операторские мнемосхемы. На втором этапе создаётся более прогрессивная математическая модель объекта, которая интегрирована в эмулятор контроллера, что допускает возможность использовать программное обеспечение в полном объёме, отображать режимы работы всего оборудования энергоблока максимально близко к действительным [2].

В настоящей работе рассмотрены подходы к моделированию процессов в газовом тракте котла одной из современных ТЭС Дальнего Востока в системе SimInTech с целью дальнейшего применения в составе комплексного тренажера оперативного персонала всей станции.

### **Литература**

1. **Рогалёв Н.Д., Дудолин А.А., Андрюшин А.В., Аракелян Э.К., Мезин С.В.** Применение современных информационных технологий в учебном процессе и научных исследованиях // Вестник МЭИ. 2017. No 6 С. 9–19.
2. **А.М. Щекагуров., А.В. Корсаков.** Методика моделирования динамики паротурбинной установки // М.: Издательство ДМК Пресс. 2022. С. 175.

*В.Ю. Стрелков, Г.В. Росляков, студенты;  
рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В последнее время стало популярным применение интеллектуальных алгоритмов управления [1], способных решать достаточно обширный класс задач по контролю, защите и диагностике энергетического оборудования. В данной работе будет рассматриваться алгоритм нечёткого регулирования применимо к линейным объектам.

Учитывая отличительные особенности объектов управления, возможно обобщить и применение регуляторов с нечёткой логикой на базе линейных алгоритмов регулирования [2]. Их база знаний формируется на основе уже изученных устойчивых замкнутых систем автоматизированного управления; амплитуда на выходе нечёткого регулятора ограничена по модулю; сам сигнал ошибки и накопление сигнала ошибки, которые используются как нечёткие входы, могут быть оценены относительно единицы и времени регулирования по рассчитанным ранее устойчивым системам. В дальнейшем же, такие системы будут способны имитировать самостоятельное принятие решений по регулированию линейными объектами регулирования.

Результаты предыдущих исследований выявили некоторые преимущества регулятора с нечёткой логикой. Он изначально является цифровым, что облегчает его использование в контроллере. Более того, нечёткий алгоритм сохраняет устойчивость при сильных изменениях параметров объекта (что может быть обусловлено потерей прочности оборудования как за длинный промежуток времени (другими словами — износ оборудования), так и за более короткий промежуток времени — предаварийные и аварийные режимы).

На данном этапе мы находим применение нечеткого регулятора для управления начальной температурой пара перед турбиной. Так как пароохладители быстро изнашиваются необходимо рассчитывать определенный объем питательной воды для впрысков, для этого необходимо внести экспертные оценки в алгоритм для определения состояния пароохладителей в зависимости от регулируемой температуры пара.

### **Литература**

1. **Ротач В.Я.** — «Теория автоматического управления» — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Яхьяева Г.Э.** Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие, 2-е изд., испр. — М.: Интернет-Ун-т Информ. Технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2012. — 315 с.

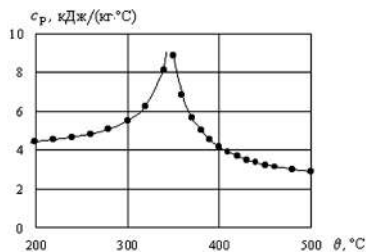
*А.С. Куликов, студ.; рук. Г.А. Пикина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИСПАРИТЕЛЬНОМ МОДУЛЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА БЛОКА БН-600

Парогенератор атомного блока на быстрых нейтронах БН-600 состоит из трех типов модулей: испарительного, перегрева острого пара и вторичного перегрева.

Моделирование тепловых процессов в испарительном модуле представляет собой непростую задачу из-за существенной нелинейной зависимости теплофизических параметров от температуры, вызванных фазовыми превращениями. Наибольшему изменению подвержена теплоемкость воды и пара, которая в точке фазового перехода достигает бесконечного значения (Рисунок 1). По этой причине в данной работе испарительный модуль разбивается на четыре участка: экономайзерный с относительно слабым изменением теплоемкости, экономайзерный с сильным изменением теплоемкости, испарительный и пароперегревательный. Для устранения статической погрешности модели [1, 2] на каждом участке разбиения принималось свое средне-интегральное значение теплоемкости, получаемое по аппроксимациям данных термодинамических таблиц [3].

В состав полной модели входят обыкновенные линеаризованные уравнения энергии входной емкости воды, трубчатых поверхностей и выходной емкости пара. Трубчатые поверхности включают уравнения внутреннего теплоносителя (воды, пароводяной смеси или пара), теплопередающих стенок труб, наружного теплоносителя (жидкого натрия) и металла корпуса. Уравнения преобразованы по Лапласу с последующим представлением в виде сигнального графа, с помощью которого получены передаточные функции для всех каналов входных и выходных величин.



**Рис. 1.** Зависимость теплоемкости воды и пара от температуры

### Литература

1. **Пащенко Ф.Ф., Пикина Г.А.** Основы моделирования энергетических объектов. М.: Физматлит, 2011. — 464 с.
2. **Рушинский В.М., Хвостова Н.Н.Я., Цюрлик В.Н.** Уравнения динамики участков котла с однофазной средой. В книге «Труды ЦНИИКА». М.: ЦНИИКА, Вып 16. 1967.
3. **Вукалович М.П.** Теплофизические свойства воды и водяного пара. «МАШИНОСТРОЕНИЕ» МОСКВА, 1967. — 160 с.

*В.Ю. Стрелков, Г.В. Росляков, студенты;  
рук. С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОРЕГУЛЯТОРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Нейронные сети сегодня уверенно вошли в инструментарий инженера-исследователя. Самые продвинутые из них уже используются в поисковых алгоритмах при подборе поисковых предпочтений, а также осуществляют поиск по картинке за счёт распознавания образов, и в том числе уже распознаётся человеческая речь [1]. С научной точки зрения, существует множество теоретических подходов по конструированию нейронных сетей глубокого обучения, разработана нейронная сеть, которая обучает сама себя. Затронула данная тематика и сферу энергетики.

ANFIS — это гибрид нечёткой логики вместе с сигмоидальной нейронной сетью [2]. В то время как нечёткая логика прекрасно даёт ответы на известные ей задачи — ИНС позволяет оценить промежуточные области данных, про которые ничего неизвестно самому алгоритму нечёткой логики.

На данный момент уже исследуется ANFIS в составе регуляторов сложных систем управления, например, в энергетике. Такие ИНС позволяют принимать известные решения без антропогенного фактора и быть активными 24/7.

Авторами данной работы предлагается к рассмотрению использование конкурирующих нейронных сетей, способных самообучаться, и таким образом имитировать наиболее точно человеческое мышление. На первом этапе будет производиться обучение поиску алгоритмов решения задач управления с использованием аппроксимирующего математического аппарата (таких как, к примеру, ряды Тейлора и Фурье). Далее, будет происходить поиск среди найденных алгоритмов оптимального. В итоге, ожидается автоматизация процесса поиска оптимальных алгоритмов управления произвольным объектом управления (например, мощность турбины или давление пара перед турбиной).

Нейронные сети внесли неопределимый вклад в развитие современной науки. Вместе с дальнейшим развитием информационных технологий последует и более высокий и сложный уровень автоматизации производственных процессов.

### **Литература**

1. **Барский, А.Б.** Логические нейронные сети: Учебное пособие/ — М.: Бином, 2013. — 352 с.
2. **Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов.** Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. — 121 с.

*Н.С. Хлюстов, студ.; К.В. Евсеев, асп.;  
рук. И.А. Болдырев, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЗАПИСИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Одним из наиболее важных параметров при записи технологических информационных сигналов является частота взятия его отсчётов. Теоретической основой вопроса дискретизации аналоговых сигналов для их записи можно считать теорему Котельникова [1], которая определяет граничные условия периода записи аналогового сигнала. Однако с реальными технологическими сигналами её применение затрудняется и в силу её граничного характера её соблюдение не всегда позволяет добиться желаемого результата.

Для решения задачи определения оптимального периода записи сигнала предлагается применение методов машинного обучения. Алгоритм заключается в подгонке множества моделей с различным интервалом прореживания исходной выборки. При этом набор данных исследуемого сигнала собирается с максимально возможным периодом записи.

По завершении подгонки модели оценивается её работоспособность касательно восстановления сигналов путём вставки предсказанных пропущенных значений [2]. Количественная оценка выражается метриками среднеквадратичной, средней абсолютной ошибок и коэффициента детерминации  $R^2$ . На основании полученных метрик при различных величинах скользящего окна и периодах записи сигнала можно сделать выводы о достаточной величине дискретизации исследуемого сигнала, что позволяет провести выбор оптимального периода записи для сокращения объёма передаваемой и хранимой информации.

### **Литература**

1. **Котельников В.А.** О пропускной способности “эфира” и проволоки в электросвязи (Приложение) // Успехи физических наук. 2006. Т. 176. №. 7.
2. **Сао W. et al.** Bidirectional recurrent imputation for time series // Advances in neural information processing systems. 2018. Т. 31.

А.И. Соловьев, студ.; рук. В.М. Парчевский к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХМЕРНОЙ СЕПАРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ВВЭР-1000

Сепарационная характеристика (СХ) показывает зависимость влажности насыщенного пара, вырабатываемого парогенератором (ПГ), от уровня воды в нем. Полученная СХ используется для поддержания и определения номинального значения уровня котловой воды. Одна из важнейших проблем, стоящих перед атомной энергетикой, является перевод АЭС на работу в режиме регулирования частоты и мощности. Важнейший фактор, влияющий на влажность, является скорость выхода пара  $w$  с зеркала испарения, которая зависит от паровой нагрузки  $D$  парогенератора. Поэтому необходима трансформация СХ в двухмерную сепарационную характеристику (ДСХ), пригодную для работы при различной нагрузке.



Рис. 1. Блок-схема разработки ДСХ ПГВ-1000

Для разработки ДСХ применялся метод расчета, который можно назвать расчетно-экспериментальным, так как там используются некоторые экспериментальные зависимости, полученные на парогенераторе типа ПГВ-1000. Расчет влажности выполняется по “методу ВТИ” [1, с. 288–290]. Для представления расчета, необходимо выполнить подготовительную работу по построению двух промежуточных двухмерных моделей. Первая модель описывает линейную зависимость скорости выхода пара с зеркала испарения от паровой нагрузки  $d$ . Вторая модель предназначена для описания связи показаний уровнемера  $h$ , расположенного на “холодном” торце, с массовыми уровнями в каждой зоне  $h_i$  при различной нагрузке.

### Литература

1. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. — М.: Энергоатомиздат, 2001.



**Секция 48**  
**ТЕПЛОТЕХНИКА И МАЛАЯ**  
**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**  
**Heat engineering and small distributed**  
**power engineering**

---

*Председатель секции: к.т.н. Мереуца Евгений Васильевич*

*Секретарь секции: к.т.н. Королева Анастасия Павловна*

*Е.В. Курьянова, асп.; рук. М.С. Иваницкий, доц., д.т.н. (ВФ МЭИ)*

## **СХЕМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Повышение энергетической безопасности электроэнергетической системы и рост конкурентоспособности объектов цифровой распределенной генерации на розничном рынке электроэнергии необходимо проводить путем совершенствования систем контроля и непрерывного учета технического состояния оборудования, а также с использованием инновационных методов управления интеллектуальными базами данных и их применения для оценки текущего состояния, определения оптимального режима работы микрогенерирующих установок, в том числе за счет применения новых схемных решений и сжигания водородного топлива [1]. Полученные в работе результаты могут быть использованы при внедрении цифровой энергетической системы на базе технологии распределенной генерации Микрогрид для экономичного управления энергетическими комплексами, снижения себестоимости производства электрической энергии за счет сжигания водородного топлива, получаемого по предложенной авторами технологии, при участии объектов распределенной генерации на розничном рынке электрической энергии и мощности, а также повышения конкуренции участников рынка и увеличения спроса на электрическую энергию для потребителей различных категорий. Результаты выполненного исследования рекомендуется использовать для комплексного обоснования и внедрения микрогенерирующих комплексов в условиях развития энергетического сектора объединенных и локальных систем, в особенности, надежного энергоснабжения удаленных потребителей [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 “Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий” на оборудовании Центра коллективного пользования «Испытательный полигон технологий транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» НТИ МЭИ.

### **Литература**

1. **Филиппов С.П., Дильман М.Д., Илюшин П.В.** Распределенная генерация и устойчивое развитие регионов // Теплоэнергетика. 2019. № 12. С. 4–17.
2. **Ляшков В.И.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. — Тамбов.: ТГТУ, 2003. — 96 с.

*С.А. Кострюков, студ.; рук. Ю.В. Гусева, доц., к.ф.-м.н. (ВФ МЭИ)*

## **МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РОТОРА**

В отечественной возобновляемой энергетике значительное распространение получили два основных типа ветроэнергетических установок: с горизонтальной и вертикальной осями вращения ротора. Для выработки электрической энергии используются ветрогенераторы малой мощности с ротором Савониуса и S-образным профилем лопастей. Преимуществами ветрогенераторов указанного типа является возможность работы при низких скоростях, высокая конструктивная технологичность и простота исполнения. При этом низкий коэффициент использования энергии ветра и значительные пусковые крутящие моменты препятствуют широкому внедрению ветрогенераторов с ротором Савониуса в отечественной энергосистеме. В связи с этим, целью работы является обоснование конструктивных параметров и создание физической модели ветрогенератора с ротором Савониуса в лабораторных условиях [1].

В ходе исследований автором проведены лабораторные испытания разработанной физической модели ветрогенератора. Выполнено сравнение полученных опытных значений коэффициента мощности и электрической мощности модельной установки ветрогенератора с ротором Савониуса для различных конфигураций профиля лопасти. Установлены локальные эффекты, возникающие вблизи поверхности профиля лопасти ветроколеса. В ходе проведения исследования профилей лопасти ветроколеса установлено, что для обеспечения заданных рабочих характеристик лопастей ротора скорость потока воздуха на малых моделях ветрогенераторов должны соответствовать значениям  $Re=10^5$  [2].

Результаты исследования могут быть использованы при создании эффективных профилей лопастей ветрогенераторов с вертикальным расположением ротора для систем распределенной энергетике, в том числе, при создании микрогенерационных комплексов для энергоснабжения удаленных потребителей.

### **Литература**

1. **Шерьязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М. и др.** Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2021. — Т. 23. — № 5. — С. 24–33.
2. **Янсон Р.А.** Ветроустановки. — М.: 2007. — 36 с: ил.

*А.М. Фонов, студ.; рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (МЭИ)*

## **ПИРОЛИЗ МЕТАНА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА**

Генерация водорода методом пиролиза метана видится довольно перспективной технологией, учитывая большие запасы природного газа в РФ. Одним из вариантов такой генерации является применение пиролизной установки на ТЭЦ для генерации чистого водорода (степень чистоты порядка 99.9%) на охлаждение генераторов и углерода в качестве побочного продукта. В ходе работы было рассмотрено две наиболее перспективные установки, выбранные с учётом максимального выхода по  $H_2$ , который согласно [1] достигается при температурах выше 1175 °С, что позволяет достичь почти 100% конверсии метана. В первой установке применяется технология плазменного нагрева в реакторе, во второй — пиролиза через жидкий металл [2]. Расчёт произведен с целью определения максимально экономически эффективной установки в рамках применения ее на ТЭЦ. Суммарные затраты на производство водорода для первой установки составили порядка 160 руб./кг  $H_2$  что сопоставимо по затратам на производства 1кг  $H_2$  методом электролиза [3]. Выход излишнего сгенерированного водорода при этом составил 570 кг  $H_2$ /час. Расчёт второй установки показал, меньше показатели по выходу водорода, порядка 350 кг  $H_2$ /час и показатель 100 руб./кг  $H_2$  излишнего водорода, однако при меньших затратах электроэнергии данный метод является более выгодным. Кроме того, установка первого типа не обеспечена системой очистки углерода, что усложняет её эксплуатацию и срок службы. Вторая установка может легко отделить углерод и использовать его в качестве также целевого продукта, учитывая такую совместную генерацию второй метод экономически более рационален, более того, он предусматривает непрерывную работу установки, что важно в системе охлаждения генераторов.

### **Литература**

1. **Geißler, T** Hydrogen production via methane pyrolysis in a liquid metal bubble column reactor with a packed bed / T. Geißler // *Chemical Engineering Journal*. — 2016. — С. 9–10.
2. **Schneider, S.** State of the Art of Hydrogen Production via Pyrolysis of Natural Gas / S. Schneider // *ChemBioEng Reviews*. — 2020. — № 7. — С. 152–154.
3. **Федюхин, А.В.** Технические аспекты производства, логистики и использования водорода / А.В. Федюхин, Карасевич В.А. // *Neftegaz.RU*. — 2022. — № 10.

Д.А. Крыницкая, студ.;  
рук. М.Г. Зеодинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН, Москва)

## ЭКСПРЕСС-УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ТОНКОЙ ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОКИ С ОКИСЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В РЕЖИМЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Для расчета теплового потока с поверхности нагретого тела необходимо иметь данные по степени черноты выбранного тела. Метод регулярного режима [1] для определения степени черноты при температурах выше комнатной впервые был применен в МЭИ в 1958 г. [2], но продолжительность нагрева и измерения составляла больше 40 минут. Авторами была решена задача создания миниатюрной экспресс установки для получения результатов при проведении эксперимента методом нестационарной теплопроводности в течение 5 минут.

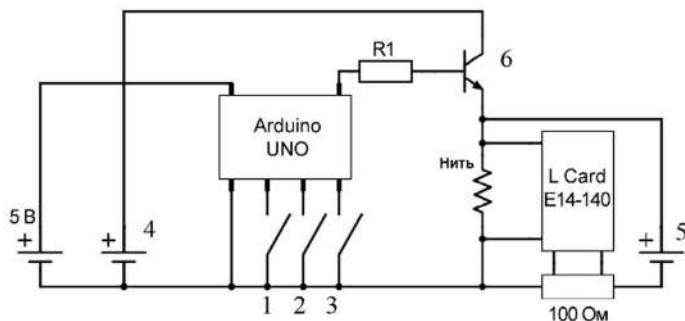


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1, 2, 3 — управляющие кнопки; 4 — источник постоянного тока для нагрева нити; 5 — источник постоянного тока для измерительной цепи; 6 — транзисторный ключ

Полученные результаты коррелируют с данными, полученными калориметрическим методом для данной вольфрамовой нити, что позволяет сделать вывод о работоспособности метода и установки.

### Литература

1. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954, 408 с.
2. Осипова В.А. Определение степени черноты металлов методом регулярного теплового режима // Теплоэнергетика. 1958. № 4. с. 59–63.

*Мэн Цзюньчао, студент;  
рук. Д.В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ $\epsilon$ — NTU МЕТОДА В РАСЧЕТАХ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ОЦР УСТАНОВОК**

В области использования возобновляемой энергии (солнечная энергия, геотермальная энергия, энергия сжигания биомассы и т.д.) и сбросной энергии промышленных производств все более широкое применение находят утилизационные установки, работающие по так называемому органическому циклу Ренкина (ОЦР, Organic Rankine cycle, ORC). Рабочими веществами двухконтурных установок ОЦР являются термостойкие масла в промежуточном контуре и теплоносители фреонового ряда в теплосиловом контуре.

В работе выполняется расчет технико-экономических показателей утилизационной ОЦР-установки на нескольких рабочих веществах. В расчете принципиальной тепловой схемы применены разработанные на основе  $\epsilon$  — NTU метода [1] модели основных теплообменных аппаратов установки ОЦР: разделительного теплообменника, парогенератора, рекуператора и конденсатора. Предложено использовать теплообменные аппараты пластинчатого типа в качестве основных теплообменников и теплообменный аппарат с каплевидными трубами в качестве разделительного теплообменника. Разработана методика теплогидравлического расчета теплообменников, интегрированная в расчет тепловой схемы. Расчеты тепловой схемы и элементов оборудования реализованы в программном пакете MathCad, что позволяет оперативно оценивать эффективность установок подобного типа. Для выбранных рабочих веществ паросиловой части определена оптимальная температура подвода теплоты в парогенераторе и получены значения КПД установки ОЦР.

### **Литература**

1. **О.А. Кайси, Д.В. Сиденков.** Комбинированная установка электротеплоснабжения для климатических условий Ирака. 2017 1742 — 6596 891 012207, doi: 10.1088/1742-6596/891/1/012207.

Д.Е. Волнухин, студент; рук. Деев Равад, ассист. (НИУ «МЭИ»)

## РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕНА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ШТИФТОВАННЫХ ТРУБ

В связи с конечным запасом энергоресурсов, поиск методов оптимальной интенсификации теплообмена является главным приоритетом для исследователей. Каплевидные трубы являются одним из наиболее подходящих вариантов для улучшения теплогидродинамических характеристик теплообменника [1].

В данной работе проводится численное исследование влияния штифтования гладких труб штифтами цилиндрического и каплевидного профилей на теплообмен при поперечном обтекании воздухом в диапазоне изменения чисел Рейнольдса  $Re_{D,max} = 7,0 \times 10^3$  до  $48,5 \times 10^3$  с помощью программного пакета ANSYS Fluent [2].

Результаты показали, что эффективность [1] для труб с штифтами каплевидного профиля больше на и 3,1–19,6%, соответственно, по сравнению с трубами с штифтами цилиндрического профиля. Предложены зависимости, позволяющая определить число Нуссельта и эффективность в зависимости от числа Рейнольдса для всех исследованных труб.

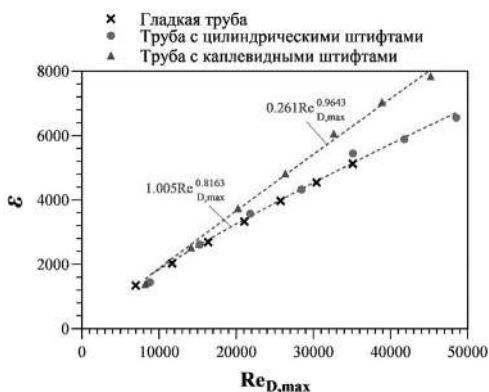


Рис. 1. Эффективность  $\varepsilon$  в зависимости от  $Re_{D,max}$

### Литература

1. Деев Р. Обобщение и анализ результатов последних исследований в области улучшения характеристик теплообмена и гидродинамики при поперечном обтекании гладких труб // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 2.
2. Деев Р. Оценка моделей турбулентности для моделирования теплообмена и гидродинамики труб каплевидной формы // Вестник Международной академии холода. 2022. Т. 83. № 2.

*Ван Чуюэ, студент;  
рук. Д.В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА ОРЕБРЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИСПАРИТЕЛЯ ТНУ**

Быстрый прогресс в области теплоэнергетического и холодильного машиностроения привел в настоящее время к тому, что теплоснабжение при помощи тепловых насосов представляет собой рациональный метод теплофикации, который может привести к экономии топлива. Рабочие вещества теплонасосных установок (ТНУ) в большинстве своем имеют недостаточные теплообменные характеристики. В связи с этим в теплообменном оборудовании ТНУ (испаритель/конденсатор) необходимо использовать развитые (интенсифицированные) теплообменные поверхности [1].

Для анализа энергетической эффективности ТНУ на кафедре ТОТ МЭИ создан учебно-экспериментальный стенд «ТН-300У». Стенд оборудован автоматизированной системой сбора (АЦП) и обработки информации. Экспериментальная часть аппаратно-программного комплекса «ТН-300У» реализует обратный холодильный цикл и позволяет снимать и вводить опытные данные в ПЭВМ для последующей обработки. Программная часть позволяет на основе экспериментальных данных рассчитать коэффициент теплоотдачи в испарителе/конденсаторе, построить замыкающие соотношения для расчета коэффициента теплоотдачи для исследованной оребренной трубы, сопоставить результаты с другими корреляциями, включенными в пополняемую базу данных сопровождения эксперимента. Моделирование процесса теплообмена в испарителе с помощью метода контрольного объема конечных элементов и разработанного на его основе программного модуля TNU-FEM, позволяет получить пространственное распределение температуры в оребренной трубе и оценить эффективность исследуемого вида оребрения.

В данной работе представлены результаты экспериментального и численного исследования процесса теплообмена при кипении хладагента R134a на рельефной поверхности испарителя ТНУ.

### **Литература**

1. **DA Ustinov, AA Sukhikh, DV Sidenkov, VA Ustinov.** Experimental study of the structure of vapor phase during boiling of R134a on heat exchange surfaces of heat pump. 2017 1742 — 6596 891 012032 doi:10.1088/1742-6596/891/1/012032



*А.С. Мурзаев, студ.; А.И. Гилязов, студ.; Р.З. Шакурова, асп.;  
рук. О.В. Соловьева, к.ф.-м.н., доцент  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ПЕНЫ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЕНОПОЛИУРЕТАНА**

Применение тепловой изоляции на трубопроводах и в ограждающих конструкциях зданий позволяет значительно снизить потери тепловой энергии. Для изоляции зданий и сооружений, а также трубопроводов часто применяют пенополиуретан вследствие низкой стоимости, долговечности и простоты монтажа [1]. Основной характеристикой теплоизоляции является коэффициент теплопроводности, который зависит от морфологических свойств материала и условий эксплуатации [2]. В нашей работе проведены исследования теплопроводности нескольких образцов пенополиуретана с различными типами ячеек (открытые, закрытые, смешанные) и их размерами (от 0,7 до 6,3 мм). Результаты экспериментальных исследований показали, что фактором, оказывающим наибольшее влияние на значение эффективной теплопроводности пены, является размер ячейки: чем меньше размер ячейки, тем меньшее значение эффективной теплопроводности имеет пенополиуретан. При близких или равных размерах ячеек основным фактором, влияющим на значение эффективной теплопроводности, является тип ячейки. В этом случае ячейки закрытого типа обеспечивают меньшее значение теплопроводности в связи со снижением вклада конвективного теплопереноса в теплопроводность пены. Помимо влияния морфологии, исследовалось влияние положения нагревателя (снизу, сверху или сбоку) на значения эффективной теплопроводности пены. Результаты исследований показали, что при различных положениях нагревателя один и тот же образец пенополиуретана имеет различные значения теплопроводности. Это связано с изменением вклада конвективного теплопереноса в значение эффективной теплопроводности. Таким образом, морфология пены и положение нагревателя влияют на значение теплопроводности пенополиуретана.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### **Литература**

1. **Pásztor Z. et al.** An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials //Journal of Building Engineering. — 2021. — Т. 44. — С. 102604.
2. **Soloveva O., Solovev S., Yafizov R.** Hydrodynamics and convective heat transfer in open cell foam with micropores //Transportation Research Procedia. — 2021. — Т. 54. — С. 64–68.

*Ю.Ф. Сабирова, студ., Я.П. Голубев, инж., Шакурова Р.З., асп.;  
рук. С.А. Соловьев, к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ ПОРИСТОЙ ВСТАВКИ НА ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛООБМЕННИКА**

Теплообменники являются важной частью теплоэнергетических систем и применяются на тепловых электрических станциях, в котельных, в тепловых пунктах, в холодильных системах, в установках утилизации тепла и т.д. [1]. В настоящее время широкое распространение получили теплообменники со вставками из высокопористого ячеистого материала, как правило, это пенометалл. Такие теплообменники компактны и имеют развитую площадь поверхности, что обеспечивает высокую производительность и небольшую металлоемкость теплообменника [2]. Проведены численные исследования влияния длины пористой вставки на теплообмен и перепад давления в теплообменнике. Создана модель высокопористой структуры со значением пористости  $\epsilon=0,8$ , длина модели составляет 10 см. Далее модель высокопористой вставки разбивалась на несколько структур с различными длинами: 1; 2;...10 см. Задавались следующие граничные условия: температура воздушного потока на входе составляла 300 К, температура пористой вставки 400 К, скорость воздушного потока на входе 1 м/с. На выходе из расчетной области задавалось атмосферное давление. Результаты исследований показали, что с увеличением длины пористой вставки перепад давления увеличивается линейно. Температура воздуха на выходе возрастает с увеличением длины пористой вставки и достигает максимального значения при длине 8 см. Температурное поле становится равномерным уже при длине пористой вставки 6 см, что говорит о хорошем перемешивании воздушного потока. Результаты исследования изменения теплового потока с поверхности пористой вставки показали, что тепловой поток возрастает с увеличением длины вставки и достигает максимальных значений при длине 8 см. Дальнейшее увеличение длины пористой вставки нецелесообразно.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### **Литература**

1. **Kuruneru S.T.W. et al.** Application of porous metal foam heat exchangers and the implications of particulate fouling for energy-intensive industries // Chemical Engineering Science. — 2020. — Т. 228. — С. 115968.
2. **Soloveva O. et al.** Estimation of energy efficiency factor for models of porous automotive heat exchangers // Transportation Research Procedia. — 2022. — Т. 63. — С. 1081–1088.

Ли Сунцин, студент; рук. Деев Равад, ассист. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ КАПЛЕВИДНЫХ ТРУБ В УТИЛИЗАЦИОННОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

В современных электростанциях различного назначения широко распространены поперечно-обтекаемые теплообменники. К ним можно отнести теплообменники с трубами различных геометрических форм: круглые, плоские, эллиптические, овальные, кулачковые и каплевидные. Каплевидные трубы являются одним из наиболее подходящих вариантов для улучшения теплогидродинамических характеристик теплообменника [1].

Работа посвящена актуальной теме применения утилизационных теплообменников с использованием каплевидных труб (Рис. 1). Проведено исследование теплообмена и гидродинамики утилизационного теплообменника, использующего теплоту отходящих дымовых газов. Работа выполнена для чисел Рейнольдса  $Re = (1,78-18,72) \times 10^3$  с помощью программного пакета ANSYS Fluent.

Результаты показали, что теплогидродинамическая эффективность  $Nu_{cp}/f$  увеличивается с увеличением числа  $Re$ . Также было найдено, что эффективность каплевидных труб примерно в 41,17–70,64 раза больше, чем у круглых труб того же эквивалентного диаметра  $D_{эк} = 22,5$  мм (Рис. 2).

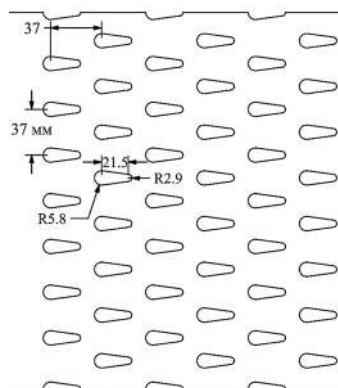


Рис. 1. Расчетная область

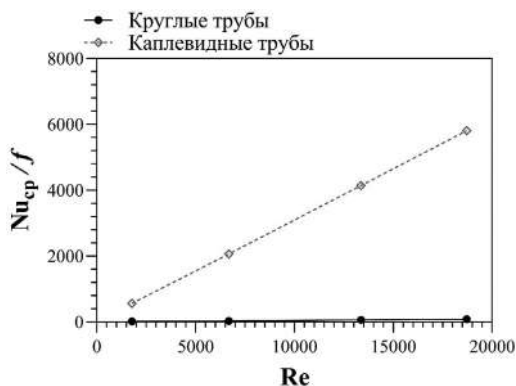


Рис. 2. Эффективность труб в зависимости от числа Рейнольдса

### Литература

1. Деев Р. Обобщение и анализ результатов последних исследований в области улучшения характеристик теплообмена и гидродинамики при поперечном обтекании гладких труб // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 2.

В.М. Лапшова, студ. ;  
рук. М.В. Козлова, ассистент (ИГЭУ, г. Иваново)

## КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РАСЧЕТА СВОЙСТВ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

В ходе теплотехнических расчетов и математического моделирования тепло-массообменного оборудования, рабочим телом которого являются дымовые газы, требуются их теплофизические свойства. В этой связи актуальным становится разработка программы, позволяющей рассчитывать свойства дымовых газов.

Авторами работы в среде Mathcad был разработан калькулятор для расчета горения твердого, жидкого и газообразного топлива и определения теплофизических свойств дымовых газов.

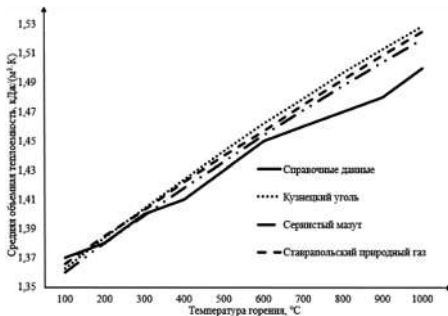


Рис. 1. График зависимости средней объемной теплоемкости от температуры горения газа для разных видов топлива

программа позволяет определять данные свойства для конкретно заданного состава исходного топлива, что обеспечивает повышение точности.

На рисунке 1 представлен график зависимости теплоемкости дымовых газов от температуры горения для твердого, жидкого и газообразного топлива, рассчитанных по программе и значений, приведенных в справочной литературе [1].

В результате проведенного исследования установлено, что относительное отклонение теплоемкости газов, определяемых по справочным данным, от рассчитанных составляет от 0,29% до 2,18%.

### Литература

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014. — 360 с.

*А.А. Федоренко, А.А. Мазепа, студенты;  
рук. Ю.А. Геллер, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Обеспечение микроклимата с минимальным привлечением инженерных систем возможно с помощью ограждающих конструкций. В проектировании ограждающих конструкций учитывается множество факторов, однако, рекомендуемая нормами методика расчета не учитывает тепловую инерцию и теплоаккумуляцию ограждающих конструкций. Включение теплоаккумулирующих материалов позволяет экономить энергию в холодных регионах. Кроме того, в условиях глобального потепления, поддержание микроклимата помещений в теплые сезоны становится все более актуальной проблемой.

Проведенные исследования позволят разработать методики, предназначенные для расчета необходимой температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций с максимальной тепловой инерцией, на основе полученной методики будет реализована программа для автоматического расчета параметров ограждающих конструкций с учетом параметров среды и слоев, опираясь на существующие параметры материалов, приведенных в Приложении Т СП 50.13330.2012.

Цель работы: исследование тепловой инерции и ее зависимости от массивности, амплитуды наружной температуры, а также взаимосвязь с теплоаккумулирующими свойствами конструкций. Изучение влияния теплоаккумулирующих материалов на параметры микроклимата помещений, в частности, на температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций. Проведение численного эксперимента для вычисления оптимальных параметров и разработка программы для расчета теплоусвоения, массивности и инерции для ограждающей конструкции на основе параметров материалов, указанных в своде правил СП 50.13330.2012.

Материалы и методы: Проведен расчет тепловой инерции и нестационарной теплопередачи через ограждающую конструкцию с учетом и без теплоаккумулирующих материалов в составе стены для получения разницы температур при условиях холодного и теплого периодов года.

### **Литература**

1. СП 50.13330.2012
2. **Федеральный закон** от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 14.07.2022)

*В.В. Шаронов, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОЖИДКОСТИ**

Проблема интенсификации теплообмена с течением времени становится лишь более актуальной, потому многие научные труды посвящены различным способам ее решения. В последние годы большое внимание уделяется наномодифицированным теплоносителям. Результаты, получаемые при замене ими традиционных теплоносителей, показывают значительное повышение коэффициента теплопроводности получаемого теплоносителя [1]. Этот факт делает наножидкость перспективным теплоносителем и объектом для многочисленных исследований.

Однако при измерении теплопроводности наножидкостей возникает множество трудностей, таких как седиментация частиц, сложная воспроизводимость наножидкостей и эффекты, связанные с взаимодействием частиц с измеряющим прибором. Упомянутые факторы зачастую приводят к неоднозначным выводам о свойствах одних и тех же веществ [2].

В настоящее время для измерения значений теплопроводности широко используются следующие методы: метод нагретой проволоки,  $3\omega$ -метод, метод плоского слоя, метод импульсного теплового тестирования и коаксиальных цилиндров.

Перспективным является использование для измерения теплопроводности метода модифицированного регулярного режима, которых применяется для определения теплопроводности твердых тел. Для проведения эксперимента были разработаны несколько измерительных калориметров различных размеров. Эксперименты показали принципиальную возможность использования метода регулярного режима для измерения теплопроводности жидкостей, в том числе и наножидкостей.

### **Литература**

1. **Nguyen C.T. et al.** Heat transfer enhancement using  $Al_2O_3$ -water nanofluid for an electronic liquid cooling system // *Applied Thermal Engineering*. — 2007. — Т. 27. — №. 8–9. — С. 1501–1506.
2. **Gonçaves I. et al.** Thermal conductivity of nanofluids: A review on prediction models, controversies and challenges // *Applied Sciences*. — 2021. — Т. 11. — №. 6. — С. 2525.

*Р.И. Басидов, асп.; А.В. Лихонина, В.Ю. Фурман, студенты;  
рук-ли К.И. Кузнецов, к.т.н., доц.,  
П.П. Гранченко, к.т.н. ( НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ВЕЩЕСТВ ФТОРУГЛЕРОДНОГО СОСТАВА НА БАЗЕ ЗАКОНА СООТВЕТСТВЕННЫХ СОСТОЯНИЙ**

В работе представлена методика расчета термодинамических функций октафторпропана (R-218) в области температур, не подтвержденной экспериментальными данными. Методика основана на использовании закона соответственных состояний [1]. Расчет выполнен, как безразмерное приращение энтальпии и энтропии в области температур 500...600°С к экспериментально исследованному диапазону на изобарах 2...12 МПа до 500°С.

В качестве эталона подобия использован тетрафторметан (R-14), имеющий близкое значение критической сжимаемости ( $Z_{кр R218} = 0,2755$ ;  $Z_{кр R14} = 0,2788$ ).

Целью исследования является расчет термодинамических функций в высокотемпературном диапазоне параметров состояний для дальнейшего оценочного расчета циклов энергетических установок, на базе органического цикла Ренкина (ОЦР) [2].

Результатом работы представлены табличные данные об энтальпии и энтропии октафторпропана, в представленном диапазоне параметров состояния. Ранее, в диапазоне до 500°С, было построено уравнение состояния вириального типа [3]. Результаты экстраполированных по этому уравнению термодинамических функций в интервале 500...600°С имеют отклонения от предлагаемого расчета по подобию, не превышающие неопределенности этих величин в рабочем диапазоне температур и давлений.

### **Литература**

1. **Андрющенко А.И.** Основы технической термодинамики реальных процессов. // М.: Высшая школа, 1967. — 267 с.
2. **Гранченко П.П., Сухих А.А., Кузнецов К.И.** Термодинамический анализ применения рабочих веществ фторуглеродного состава в электрогенерирующих установках малой энергетики. // Новое в Российской электроэнергетике. 2018. № 1. С. 6–20.
3. **Кузнецов К.И., Сухих А.А., Утенков В.Ф., Скородумов С.В.** Разработка уравнения состояния вириального типа для расчета термодинамических свойств октафторпропана в газовой области. // Труды XIII Российской конфер. по теплофизическим свойствам веществ. Новосибирск, 2011. — 1.

*В.Д. Папков, Н.А. Шадымов, студенты;  
рук. Д.И. Пащенко, к.т.н., доцент (СамГТУ, Самара)*

## **ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕТАНОЛА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (НА ПРИМЕРЕ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ)**

Одним из способов использования метанола в качестве топлива является его предварительная термохимическая трансформация, в результате которой образуется синтез-газ (газообразное топливо с высоким (более 50%) содержанием водорода). Для термохимической трансформации метанола возможно использование низкопотенциальных вторичных энергоресурсов с температурой до 300°C [1]. Поэтому вопросы использования метанола в качестве топлива в последнее время приобретают особую актуальность.

В работе рассмотрена задача определения тепловых и материальных потоков в реформере в зависимости от технологических и конструктивных параметров на основе численного моделирования в программном продукте Ansys Fluent. Разработана CFD модель реформера, в которой кинетика химической реакции, а также диффузия внутри частицы катализатора заданы с помощью пользовательских функций — UDF (user-defined function). Получены зависимости характеристик тепло- и массообмена от технологических параметров. В частности установлено, что степень конверсии достигает максимального значения при температуре выше 270°C. Коэффициент теплоотдачи от катализатора к реакционной смеси на 35% выше, чем при условии отсутствия химической реакции. Построены контуры температур и массовой доли метанола как в проточной области, так и в области пористого катализатора. Кроме того, определено влияние конструктивных параметров на тепловые и материальные потоки внутри термохимического реактора для различных форм частиц катализатора.

Перспективы использования метанола через предварительную термохимическую трансформацию делает актуальными вопросы исследования процессов тепло- и массообмена в термохимических реформерах.

### **Литература**

1. **Pashchenko D.** Ammonia decomposition in the thermochemical waste-heat recuperation systems: A view from low and high heating value // Thermal Science and Engineering Progress. — 2022. — С. 101537.



*Ю.Ф. Сабирова, студ., Я.П. Голубев,  
О.В. Соловьева, к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ И РАЗМЕРА ЯЧЕЕК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В КЕРАМИЧЕСКОМ РЕКУПЕРАТОРЕ**

В настоящее время задача снижения потребления энергии находится в центре внимания ученых всего мира. В связи с быстрым темпом развития человеческого общества потребление энергии увеличивается с каждым годом. Если при сжигании топлива применять процесс рекуперации, можно значительно повысить как эффективность сжигания топлива, так и эффективность работы электростанции в целом. В качестве рекуператоров тепла часто применяются пористые керамические теплообменники [1]. Пористая керамика имеет большую площадь поверхности и низкую плотность, что обеспечивает высокую теплоотдачу и низкий перепад давления соответственно. При этом на эффективность теплообмена в пористой керамике оказывают влияние такие характеристики, как размер ячеек, форма ячеек, пористость [2]. В данной работе представлены результаты исследования влияния вышеперечисленных характеристик на теплообмен в пористом керамическом рекуператоре. Построены модели пористых сред с различными значениями пористости: 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95. Средний размер ячейки составлял: 1,4; 2,1; 2,8 мм. Результаты исследований показали, что с увеличением пористости керамического рекуператора возрастает значение коэффициента теплоотдачи. Например, рекуператор со средним размером ячеек 1,4 мм имеет следующие значения коэффициента теплоотдачи: 300 Вт/(м<sup>2</sup>×К) при значении пористости 0,7 и 360 Вт/(м<sup>2</sup>×К) при значении пористости 0,95. Увеличение среднего размера ячейки негативно влияет на значение коэффициента теплоотдачи. Так, при увеличении среднего размера ячейки с 1,4 мм до 2,8 мм коэффициент теплоотдачи уменьшился с 260 до 180 Вт/(м<sup>2</sup>×К), для керамического рекуператора с пористостью 0,85. Таким образом, пористость, а также средний размер ячеек оказывают влияние на эффективность теплообмена в керамическом рекуператоре.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### **Литература**

1. **Chen Q. et al.** Design and Performance Investigation of a Compact Catalytic Reactor Integrated with Heat Recuperator // *Energies*. — 2022. — Т. 15. — №. 2. — С. 447.
2. **Soloveva O. et al.** Mathematical modelling of heat transfer in open cell foam of different porosities // *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. — Springer, Cham, 2019. — С. 371–382.

*Р.З. Шакурова, асп., Я.П. Голубев,  
С.А. Соловьев, к.ф.-м.н., доцент (ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОРИСТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Теплообменники являются важными элементами технологических систем на предприятиях энергетики, химической промышленности, систем холодоснабжения и т.д. В последние годы большое внимание исследователей привлекли пористые теплообменники благодаря своей компактности, большой площади поверхности и сложной геометрии каналов. В качестве материала пористых теплообменников зачастую применяют металлы с высокими значениями теплопроводности, такие как алюминий или медь. Тем не менее, применение металлических пористых теплообменников ограничено в связи с неустойчивостью металлов к воздействию агрессивных жидкостей. Хорошей альтернативой металлам является керамика в связи с высокой коррозионной устойчивостью [1]. Эффективность пористого теплообменника напрямую зависит от его геометрии, например, формы ячеек, и пористости [2]. В данной работе проведены численные исследования влияния формы ячеек и пористости керамического пористого теплообменника на коэффициент теплопередачи и перепад давления. Построены 3D-модели пористого теплообменника со случайной и упорядоченной структурой. В последнем случае ячейки структуры имели форму куба, октаэдра или ячейки Кельвина. Исследования проводились при значениях пористости от  $\epsilon=0,75$  до  $\epsilon=0,9$ . Результаты численных исследований показали, что с повышением пористости перепад давления уменьшается. Наименьший перепад давления показала структура с кубическими ячейками с пористостью 0,9. Исследования изменения коэффициента теплопередачи показали, что увеличение пористости приводит к увеличению коэффициента теплопередачи благодаря возрастанию влияния конвекции. Наибольший коэффициент теплопередачи имеет пористый теплообменник с ячейками в виде октаэдра ( $\epsilon=0,9$ ). Данная структура показала также низкий перепад давления при  $\epsilon=0,9$ , в связи с чем оказалась наиболее эффективной.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### **Литература**

1. **Wu Z. et al.** Coupled radiation and flow modeling in ceramic foam volumetric solar air receivers // Solar energy. — 2011. — Т. 85. — №. 9. — С. 2374–2385.
2. **Soloveva O. et al.** Estimation of energy efficiency factor for models of porous automotive heat exchangers // Transportation Research Procedia. — 2022. — Т. 63. — С. 1081–1088.

*В.В. Леонов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СУШКА И НАГРЕВ ЖЕЛОБОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В настоящее время одной из основных проблем при выплавке чугуна в доменных печах является немалая себестоимость конечного продукта. В связи с этим, остро встает вопрос применения энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий на всех этапах производства.

В доменном цеху, одним из наиболее подверженных износу элементов являются желоба для транспортировки чугуна и шлака [1]. Это обуславливает частую замену огнеупорных материалов, которыми футеруются желоба. Ввод в эксплуатацию желобов не может быть выполнен без предварительного нагрева и сушки материала огнеупорной футеровки. Данный этап необходим для извлечения влаги из материала футеровки, что приводит к увеличению срока службы огнеупоров.

На сегодняшний день существует несколько способов нагрева и сушки желобов доменных печей. Наиболее распространенный — использование газовых горелок, которые помещаются непосредственно в желоб. Нагрев и сушка осуществляется при помощи продуктов горения топлива. Данный метод имеет ряд недостатков, среди которых: высокие тепловые потери в окружающую среду, открытое пламя газовой горелки.

Целью данного исследования является разработка изделия для эффективного нагрева и сушки футеровки желобов доменных печей при помощи продуктов горения природного газа, а также моделирование процесса горения и теплообмена в программном комплексе ANSYS. Снижение расхода газа планируется достигнуть с помощью применения наиболее эффективных газовых горелок. Конструкция изделия позволит максимально уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Результатом исследования будут габаритные размеры изделия и конструктивные решения. Ожидается снижение потребления газа на нагрев и сушку футеровки ориентировочно в 2 раза.



**Рис. 1.** Качающийся желоб доменной печи

### **Литература**

1. **Якушев А.М.** Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. М.: Metallurgia, 1984.

В.А. Свиркин, студент; Е.Г. Чачин, студент;  
рук. Деев Равад, ассист. (НИУ «МЭИ»)

## ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ШТИФТОВЫХ РЕБЕР

В связи с растущим спросом на энергосберегающие оборудование, в последние годы главным приоритетом для исследователей становится разработка эффективных теплообменных аппаратов, обладающих низкими потерями давления. Каплевидные трубы являются одним из наиболее подходящих вариантов для улучшения теплогидродинамических характеристик теплообменника [1, 2].



Рис. 1. Гладкая труба



Рис. 2. Труба с цилиндрическими штифтами

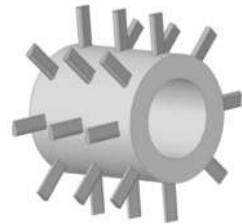


Рис. 3. Труба с каплевидными штифтами

В настоящей работе проводится численное исследование влияния штифтования гладких труб штифтами цилиндрического и каплевидного профилей на гидродинамические характеристики при поперечном обтекании потоком воздуха в диапазоне изменения чисел Рейнольдса  $Re_{D,max} = 7,0 \times 10^3$  до  $48,5 \times 10^3$  с помощью программного пакета ANSYS Fluent (Рис. 1–4) [3]. Результаты также сравниваются с гладкими трубами.

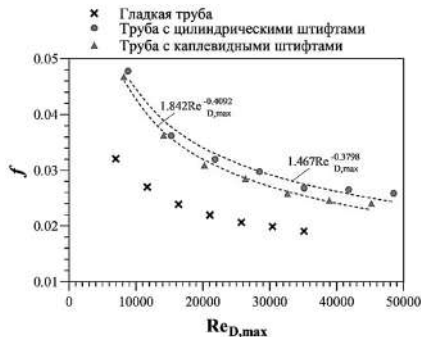


Рис. 4. Коэффициент трения  $f$  в зависимости от числа Рейнольдса  $Re_{D,max}$

20,66%, однако, после пересечения точки, значение коэффициента гидродинамического для трубы с каплевидными штифтами были меньше на 2,17–7,27%.

На рис. 4 видно, что гидродинамическое сопротивление пучков труб  $f$  уменьшается с увеличением  $Re$ . Минимальные значения  $f$  были достигнуты для гладкой трубы. Значения коэффициента гидродинамического сопротивления примерно на 0,7–35 % и 0,22–14,88 % выше, соответственно, для каплевидного и цилиндрического штифтового оребрения по сравнению с гладкой трубой, для всего диапазона чисел Рейнольдса. По сравнению с трубой с цилиндрическими штифтами, значения  $f$  для трубы с каплевидными штифтами при малых числах Рейнольдса были выше на 6,06–

Предложена зависимость, позволяющая определить коэффициента гидродинамического сопротивления штифтовых труб в зависимости от числа Рейнольдса  $Re_{D,max}$ .

### Литература

1. **Деев Р.** Обобщение и анализ результатов последних исследований в области улучшения характеристик теплообмена и гидродинамики при поперечном обтекании гладких труб // *Тепловые процессы в технике*. 2021. Т. 13. № 2.
2. **Deeb R.** Numerical analysis of the effect of longitudinal and transverse pitch ratio on the flow and heat transfer of staggered drop-shaped tubes bundle // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2022. Vol. 183. 122123.
3. **Деев Р., Колотвин А.В., Сиденков Д.В.** Оценка моделей турбулентности для моделирования теплообмена и гидродинамики труб каплевидной формы // *Вестник Международной академии холода*. 2022. Т. 83. № 2.

*М.А. Бавыкин, студ.; рук. В.Я. Губарев, к.т.н., проф. (ЛГТУ, Липецк)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СЕКЦИИ ПРЯМОГО ПЛАМЕННОГО НАГРЕВА АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ОЦИНКОВАНИЯ**

Сегодня снижение энергозатрат является одной из основных задач крупных металлургических предприятий. Данная проблема является актуальной для зоны безокислительного нагрева агрегата непрерывного горячего цинкования, которая служит для нагрева полосы от 20 до 750°С.

Целью данной работы является моделирование конвективного теплообмена в зоне прямого пламенного нагрева при непосредственном взаимодействия факела горелки с полосой и определение коэффициентов теплоотдачи при различных режимах работы с помощью программного обеспечения Ansys Fluent.

Были проанализированы два режима работы секции: максимальный режим, при котором работают три зоны нагрева и подача топлива осуществляется в количестве  $G_2=450$  м<sup>3</sup>/ч,  $G_3=600$  м<sup>3</sup>/ч,  $G_4=600$  м<sup>3</sup>/ч; минимальный режим работы горелок, при котором работают 3 и 4 зона нагрева, а подача топлива осуществляется в количестве  $G_3=200$  м<sup>3</sup>/ч,  $G_4=600$  м<sup>3</sup>/ч.

В результате работы получены контуры и графики распределения коэффициентов теплоотдачи по верхней и нижней поверхности полосы для каждого режима работы секции.

Установлено, что средний коэффициент теплоотдачи для максимального режима работы секции составляет 75–80, а также, что при переходе от максимального режима к минимальному происходит снижение значений коэффициентов теплоотдачи в 1,6 раза.

Полученные результаты будут использованы в дальнейшем при создании полной модели теплообмена в секции с учетом радиационного теплообмена и разработке рекомендаций по совершенствованию режимов нагрева с целью снижения энергозатрат.

### **Литература**

1. **Батурин О.В., Батурин Н.В., Матвеев В.Н.** Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса FLUENT: учебное пособие / О.В. Батурин. — Самара: Изд-во Самарский государственный аэрокосмический университет, 2009. — 151 с.
2. **Зиганшин А.М.** Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent: методическое пособие для учебной и научной работы студентов направления «Строительство» (квалификация «бакалавр» и «магистр») и аспирантов специальности 05.23.03 / А.М. Зиганшин. — Казань: Изд-во Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2013. — 79 с.

*К.А. Юричковский, С.А. Сильянов, студенты;  
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ — ТУРБИНЫ**

На сегодняшний день актуальна проблема создания цифровых моделей в сфере тепловой энергетики. Моделирование теплогидравлических систем используется в качестве средства предиктивной аналитики, для оптимизации процессов системы под новый режим работы, а также для проведения планового обучения оперативного персонала [1].

Использование тренажеров для тепловых электрических станций (ТЭС) на базе цифрового двойника позволяет повысить квалификацию технического и руководящего персонала, отработать навыки управления оборудованием, провести глубокий анализ различных режимов оборудования, что подтверждает необходимость их повсеместного использования. Цифровая модель теплогидравлических системы должна соответствовать некоторым требованиям: быстрый расчет в реальном времени, минимизация погрешностей вследствие упрощения модели, наглядное представление элементов для конечного пользователя. Очевидно, что CFD — моделирование не позволяет соблюсти требования по скорости расчета и наглядности конечной модели [3].

В настоящей работе рассматривается моделирование проточной части теплового двигателя — турбины в среде динамического моделирования технических систем SimInTech. Данная среда позволяет создать как простые, так и комплексные модели для последующего применения в тренажерах тепловых электрических станций (ТЭС).

### **Литература**

1. **Костюк А.Г., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газотурбинные установки для электростанций — М.: Издательский дом МЭИ, 2018. — 688 с.: ил.
2. **Королев В.И.** Теплорасходная диаграмма пара и конденсата для анализа режимов использования тепловых паротурбинных установок / В.И. Королев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 2018. Т. 10.
3. **Калашников А.А.**, Динамика регулирования турбин — М.: Энергоатом-издат, 1999. — 328 с.

*М. Жунцян студ.; А.А. Пронкин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Бесконтактное измерение температур имеет важное значение для различных областей техники: физика высоких давлений, горения и взрыва, газоразрядной плазмы, нанотехнологий, технологий лазерной обработки материалов и др. Так как измерение температуры объекта связано с излучательными характеристиками поверхности, то для увеличения точности измерения используется модель абсолютно черного тела (АЧТ). Кроме того, источник излучения черного тела может также откалибровать оборудование для измерения температуры инфракрасного излучения [1]. Модель АЧТ — это идеальная модель с коэффициентом поглощения, стремящимся к единице. Однако сама модель АЧТ может давать погрешность измерения связанную с неизотермичностью ее поверхности [2].

В данной работе произведены расчеты для различных условий при использовании оптической диагностики температуры. Показано, что прямой метод измерения температуры поверхности может давать погрешность измерения температуры до 30%. На примере цилиндрической модели АЧТ [3, 4] произведено сравнение неидеальности изотермической и неизотермической модели АЧТ, ее влияние на погрешность измерения температуры. Показано, что на погрешность измерения температуры оказывает влияние профиль температуры стенки модели АЧТ.

### **Литература**

1. **Брамсон М.А.** Инфракрасное излучение нагретых тел. М.: Наука, 1964.
2. Излучательные свойства твердых материалов: Справочник / Под ред. Шейндлина А.Е. — М.: Энергия, 1974.
3. **Оцисик М.Н.** Сложный теплообмен. М.: Мир, 1986.
4. **Howell J.R., Siegel R., Mengüç M.P.** Thermal radiation heat transfer. Fifth edition. CRC Press, 2010.



*С.А. Серегин, Э.Е. Бальбурова, Е.Д. Максимова, студенты;  
рук. Ю.А. Геллер, доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ**

За последние 20 лет в России произошел переход на новую технологию изготовления герметичных окон, связанных с новыми требованиями по снижению тепловых потерь. Возникла ситуация, когда улучшение одних параметров (уменьшение теплопотерь, улучшение звукоизоляции и т.п.) приводит к ухудшению других параметров внутренней среды (повышение влажности воздуха, снижение показателя работы вентиляции). Для решения этих проблем, окна держат открытыми, что приводит к повышению тепловых потерь. Целью нашей научной работы является уточнение методики расчета инфильтрации с учетом вышеперечисленных факторов. Решая проблему снижения теплопотерь, строительные организации создают новую проблему, не менее значимую для комфортного проживания человека, — обеспечение нормальной воздушной среды в помещениях. Можно сделать вывод о наличии системной ошибки — устаревший подход к проектированию систем вентиляции и отсутствие обобщающей методики расчета инфильтрации по одновременному решению задач энергосбережения и обеспечения здоровой микрофлоры в помещении.

Проведено исследование процесса инфильтрации помещения при комнатной температуре. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость заполнения воздуха и снижения температуры. Проведены расчёты:  $G$  (расхода воздуха), который проходит через окна и двери, процесса охлаждения здания с учётом инфильтрации воздуха в помещения. Проведено обобщение имеющихся материалов по пропускной способности стеклопластиковых оконных конструкций. Сделаны практические предложения по повышению инфильтрации воздуха через световые проёмы здания.

### **Литература**

1. **В.И. ВЕСНИН** — ИНФИЛЬТРАЦИЯ ВОЗДУХА И ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ПОМЕЩЕНИЙ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ ПРОЁМЫ
2. **О.З. ХАЛИМОВ, О.А. АДЫЯКОВА, Н.М. ХАЛИМОВА** — ВЛИЯНИЕ ПРИЧИН ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСОЛОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ И ЭКСФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ НА ТЕПЛОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ
3. **ТКП 45-3.02-113-2009 (02250)** Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций. Строительные нормы проектирования. — Минск, 2009.
4. **СП 50.13330.** тепловая защита зданий.

*К.В. Кобызов, студ.;*  
*рук. Т.О. Политова, ст. препод. (ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Наиболее важное преимущество нейросетевых технологий перед классическими методами статистического анализа состоит в том, что они могут аппроксимировать любые сложные нелинейные зависимости произвольного и заранее известного вида [1].

Применение универсального нейросетевого подхода составляет общую основу решения задач повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок (ТТУ) и систем с недостаточным информационным обеспечением. Вы можете использовать результаты, полученные из промышленных экспериментальных данных и сложных математических моделей для обучения нейронных сетей [2, 3].

При использовании нейросетевой технологии для повышения энергетической эффективности ТТУ и систем можно сделать следующие выводы:

- При выборе типа задачи чаще всего приходится решать проблему прогноза.
- При анализе результатов данные должны представляться в табличном виде или визуально отображаться на графиках.
- На практике лучше использовать существующие нейросетевые программы, а не создавать собственные.
- При решении практических задач лучше всего использовать тип нейросетей, построенных на многослойном персептрону.
- При формировании обучающей выборки чаще всего данные ограничиваются.

### **Литература**

1. **Гайдук А.Р.** Системы автоматизированного управления. Примеры, анализ и синтез. Таганрог: — Изд-во ТРТУ, 2006. — 414 с.
2. **Горбунов В.А.** Применение и анализ использования генетического алгоритма оптимизации для снижения расхода топлива на садовые печи / В.А. Горбунов // Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: СППУ, 2012. — С. 745–752.
3. **Андреев В.В.** Исследование нейросетевой системы распознавания образов в среде Matlab / В.В. Андреев, Н.Н. Порфирьева, А.М. Прохоров // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 113–120.

*Б.К. Лысенко, студ.;*  
*рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООХЛАЖДЕНИЯ ДЫМОВЫХ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЛОАГРЕГАТОВ**

Основные тепловые потери котлоагрегатов, как водогрейных, так и паровых, — тепловые потери с уходящими дымовыми газами. Дымовые газы уходят из котлов в атмосферу с высокой температурой, вызванной намеренным недоохлаждением, с целью предотвращения конденсации водяных паров из газов на хвостовых поверхностях котла и в дымовой трубе. С другой стороны, доохлаждение дымовых газов является нетривиальной задачей в ряде случаев: часто потенциал нагреваемой жидкости выше, чем потенциал охлаждённых дымовых газов. При всех факторах выше, доохлаждение дымовых газов — это способ значительно увеличить эффективность работы котлоагрегатов.

Повышение эффективности можно производить не только на проектируемых котлоагрегатах, но и на работающих, при помощи доустановки теплообменника за котлоагрегатом.

Работа представляет собой часть исследования эффективности внедрения технологий доохлаждения дымовых уходящих газов, функционирующих водогрейных котельных.

Трудами А.В. Ефимова, А.А. Кудинова подтверждается целесообразность таких технологий, ими описана эффективность при установке таких теплообменников, эффективность доходит до 25%.

В работе проведён анализ различных котельных с объектами теплоснабжения.

Составлена компьютерная программа, автоматически рассчитывающая эффективность и прочие сопутствующие параметры, при установке оборудования, утилизирующего теплоту дымовых газов.

Получена средняя за сезон в средней полосе России продолжительность работы утилизационной схемы, равная половине отопительного сезона. Средние характеристики работы котельных: температуры теплосети начала доохлаждения дымовых газов, расходы по газо-воздушным трактам (газов, конденсата), а также дополнительная экономия топлива за отопительный сезон, равная 20%.

Эта работа открывает следующий уровень: конструктивным и технико-экономическим проработки.

### **Литература**

1. Современные технологии глубокого охлаждения продуктов сгорания топлива в котельных установках / А.В. Ефимов — Харьков: НТУ «ХПИ», 2017.
2. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Кудинов А.А., Зиганшина С.К. — Москва: Машиностроение, 2011.
3. **Извеков А.В.** Теплоснабжение жилого района города от ТЭЦ / А.В. Извеков, С.А. Семин — Москва: Издательский дом МЭИ, 2010.
4. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2008.

*Л. Ие, студ.; Ю.В. Шацких, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ**

Известно, что теплопроводность твердых материалов на 2 порядка больше, чем у жидкостей. Эксперименты показывают, что добавление наночастиц высокотеплопроводных материалов в жидкость может значительно увеличить теплопроводность жидкости и улучшить характеристики теплопередачи системы теплообмена. Наночастицы чрезвычайно малы по размеру (до 100 нм), обладают небольшими размерными эффектами, поверхностными эффектами и эффектами макроквантового туннелирования и не вызывают износа и закупорки труб, поэтому они имеют хорошие перспективы применения в качестве теплоносителей. Таким образом, наножидкости имеют широкие перспективы применения для улучшения теплопередачи.

Актуальной задачей является определение теплопроводности наножидкости. Одним из перспективных методов является метод регулярного режима. В данной работе для определения теплопроводности использован метод двух точек [1]. Для проведения эксперимента был изготовлен калориметр с двумя термодарами. Для апробации метода было проведено несколько экспериментов на дистиллированной воде, в которых в качестве греющей среды использовались как вода, так и воздух. При обработке результатов эксперимента были получены теплопроводность и температуропроводности воды и сопоставлены с существующими табличные значения. Полученные данные позволяют судить о применимости метода регулярного режима для определения теплопроводности жидкостей.

### **Литература**

1. Регулярный тепловой режим и его приложение для измерения тепловых свойств твердых тел. Нестационарная теплопроводность: учебное пособие / А.В. Костановский. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 32 с.

*Н.А. Шадымов, В.Д. Папков, студенты;  
рук. Д.И. Пащенко, к.т.н., доцент (СамГТУ, Самара)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗУГЛЕРОДНОГО ТОПЛИВА В ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКЕ**

Оптимальным способом использования аммиака в качестве топлива является его термохимическая трансформация, в результате которой получается газообразное топливо с высоким содержанием водорода. Для термохимической трансформации аммиака возможно использование отходящего тепла из выхлопных газов после потребляющих топливо устройств. [1] Поэтому использование аммиака в качестве топлива является актуальной задачей.

Основной рассматриваемой задачей является определение тепловых и материальных движений в термохимическом реформере в зависимости от конструктивных особенностей. Работа выполняется на основе численного моделирования в программном продукте Ansys Fluent, в процессе которой создается CFD модель термохимического реформера, в которой кинетика химической реакции и диффузия внутри элементов катализатора задаются с помощью пользовательских функций — UDF (user-defined function). Получены зависимости характеристик тепло- и массообмена от технологических параметров. В частности установлено, что степень конверсии достигает максимального значения при температуре выше 250°C. Коэффициент теплоотдачи от катализатора к реакционной смеси на 29% выше, чем при условии отсутствия химической реакции. Построены контуры температур и массовой доли метанола как в проточной области, так и в области пористого катализатора. Кроме того, определено влияние конструктивных параметров на тепловые и материальные потоки внутри термохимического реактора для различных форм частиц катализатора.

Перспективы использования аммиака через термохимическую трансформацию делает актуальными вопросы исследования процессов тепло- и массообмена в термохимических реформерах.

### **Литература**

1. **Pashchenko D., Ravil M.** Low-grade heat utilization in the methanol-fired gas turbines through a thermochemical fuel transformation/Energy Conversion and Management. — 2022. — С. 114959.

*М.А. Нагоров, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ НАНОЖИДКОСТИ**

Наножидкость — это перспективный теплоноситель, который позволяет интенсифицировать процесс теплообмена. Он представляет собой совокупность базовой жидкости и наночастиц с характерным размером от 1 до 100 нм. Интенсификация теплообмена в нанофлюидах происходит за счет увеличения коэффициента теплопроводности данного теплоносителя, вследствие добавления наночастиц. Особенно актуально применение наносuspensions в контурах, где невозможно использование больших объемов теплоносителей таких как: медицинская и компьютерная техника и различные двигатели.

Одним из важнейших свойств любой жидкости является ее вязкость. При добавлении наночастиц в базовую жидкость ее вязкость возрастает, а соответственно возрастает и мощность, затрачиваемая на прокачку данного теплоносителя [1]. Помимо этого, при добавлении наночастиц может измениться реология жидкости [2]. Соответственно возможен такой случай, при котором применение нанофлюида может быть экономически нецелесообразно. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для применения наножидкостей как теплоносителей нам необходимо знать ее вязкость. На данный момент существующие эмпирические формулы имеют достаточно узкое применение, справочные данные отсутствуют, а результаты различных исследований в своем большинстве расходятся. Причиной этого является тот факт, что вязкость наножидкостей зависит от гораздо большего числа параметров, нежели обычных жидкостей [3], и соответственно различных их конфигураций существует огромное количество.

Исходя из вышесказанного, становится ясно, что для применения каждого нанофлюида необходимо измерять его вязкость, а также его реологические свойства. В отличие от базовых жидкостей, измерение вязкости наножидкостей более сложная задача, так как в нее входят такие пункты, как приготовление наносuspensions и ее стабилизация во время измерений. Таким образом, целью данной работы является составление унифицированного способа измерения вязкости наножидкостей.

### **Литература**

1. **Namburu P. K. et al.** Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture // *Experimental Thermal and Fluid Science*. — 2007. — Т. 32. — №. 2. — С. 397–402.
2. **Рудяк В.Я., Минаков А.В., Пряжников М.И.** Особенности вязкости наножидкостей. Экспериментальное изучение // *Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)*. — 2018. — Т. 21. — №. 1. — С. 30–41.
3. **Рудяк В.Я. и др.** Экспериментальные данные о зависимости вязкости наножидкостей на основе воды и этиленгликоля от размера и материала частиц // *Доклады академии наук*. — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук», 2016. — Т. 467. — №. 3. — С. 289–289.

А.А. Овчинников, аспирант; рук. О.Ю. Кулешов, д.т.н., доцент  
(СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов)

## УТИЛИЗАЦИЯ ИЗБЫТОЧНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА НА УСТАНОВКЕ Л-24-6

Рассматривается установка Л-24-6 Саратовского НПЗ, на которой осуществляется стабилизация дизельного топлива. Получаемый в процессе стабилизации газ низкого давления имеет в своем составе пропан-бутановую фракцию и используется как топливо в технологических трубчатых печах установки. Часть газа стабилизации в количестве 2 тысячи м<sup>3</sup>/час избыточна для печей и сбрасывается на факел, где сжигается, то есть, по существу, теряется.

Современные варианты компримирования газа в основном предполагают использование электродвигателей для создания движения нагнетателя. На установке Л-24-6 Саратовского НПЗ имеются технологические потоки, которые могут быть использованы в качестве эжектирующей рабочей среды в струйном компрессоре для сжатия сбрасываемого на факел газа. На установке Л-24-6 осуществляется сброс давления потока технологического продукта с 37 до 5 атмосфер.

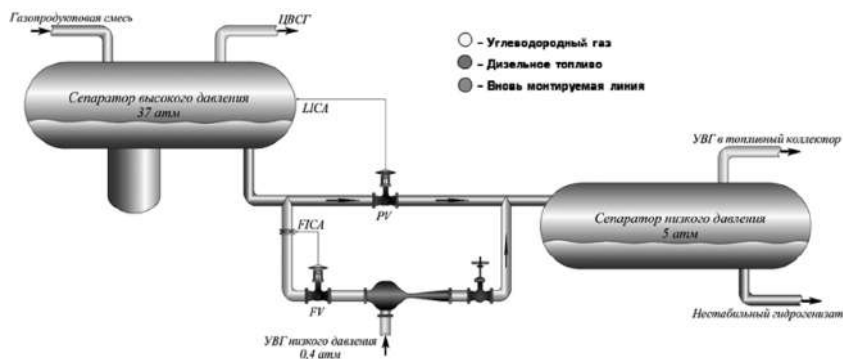


Рис. 1. Схема монтажа газо-жидкостного эжектора

Газо-жидкостный эжектор устанавливается на дополнительной байпасной линии, которой оборудуется переток между сепараторами высокого и низкого давления, параллельно клапану уровня сепаратора высокого давления. Данное решение дает возможность компримировать и за счет этого вывести в топливную сеть завода весь сбросной низконапорный газ при минимальных капитальных затратах и без затрат электроэнергии на механические нагнетатели.

Предлагаемое решение позволит заводу сберечь до 3 т/час жидкого топлива, используемого в зимний период на печах ЭЛОУ-АВТ-6.

### Литература

1. Цегельский В.Г. Струйные аппараты. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 573 с.

*О.Д. Матухнова, аспирант;  
рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ОПРЕСНЕНИИ ВОДЫ**

При генерации электроэнергии для получения пресной воды возникает необходимость сравнения установок, использующих традиционные и возобновляемые источники энергии.

Основной проблемой установок органического цикла Ренкина, в которых возможно использование биомассы, является невысокий КПД — около 20%, а также постоянная потребность в подготовленном топливе.

Ветровые энергетические установки являются дорогостоящими и требуют серьёзного обслуживания. Помимо этого, при их использовании возникают вибрации, оказывающие вредное воздействие как на здоровье человека, так и на плодородность почвы.

Солнечные установки набирают популярность в связи с повышением КПД и разработкой новых технологий в аккумулировании электроэнергии. Не смотря на положительные факторы, их применение сопряжено со следующими сложностями: большие занимаемые площади, продолжительность солнечных дней, отложение солей на поверхности солнечных батарей, что приводит к резкому снижению КПД установки [1].

В работе рассмотрена тепловая парокомпрессионная опреснительная установка, с потребляемой мощностью 4470 кВт для обеспечения пресной водой населенного пункта с потреблением 950 м<sup>3</sup>/сут. Рассчитано, что при использовании газопоршневого агрегата (ГПА) для выработки электрической энергии необходимо 2 установки номинальной мощностью 2250 кВт и общей занимаемой площадью 43,2 м<sup>2</sup>.

Расчетным путем установлено, что в случае применения солнечных опреснительных установок с приведенными выше потребуется площадь примерно в 3000 раз больше по сравнению с площадью опреснительной установки ГПА.

Таким образом, при необходимости высоких производительностей по пресной воде солнечные установки целесообразно использовать в дополнении к традиционным источникам энергии для повышения производительности и энергетической эффективности всей установки.

### **Литература**

1. **Рахматулин, И.Р.** Сравнительный анализ использования солнечного коллектора и солнечного концентратора для опреснения воды / И.Р. Рахматулин // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. — 2013. — Т. 2. — С. 190–193.



**Направление X**  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ**  
**МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
**Power engineering machinery**

---

**Руководитель направления:**

И.о. директора института  
энергомашиностроения  
и механики НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор  
Меркурьев Игорь Владимирович

## **Секция 49**

# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИГАТЕЛИ**

## **Power engineering installation and engines**

---

*Председатель секции: д.т.н., профессор Росляков Павел Васильевич*

*Секретарь секции: д.т.н., доцент Богомолова Татьяна Владимировна*

М.О. Белова, асп.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕОТБОРНОЙ СТУПЕНИ С ПОВОРОТНОЙ ДИАФРАГМОЙ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ Т-56/73-7,8/0,04

В течение прошлого десятилетия рассмотренная турбина дважды выходила из строя в связи с поломкой рабочих лопаток послеотборной ступени.

По результатам проведенных в работе исследований при различных положениях поворотной диафрагмы (рис. 1) получено наличие существенной неравномерности потока на входе в послеотборную ступень, которая сохраняется на входе в последующие ступени.

Полученная неравномерность также негативно сказывается на прочностных характеристиках послеотборных ступеней. Результаты проведенных исследований в трех из четырех вариантов положения поворотной диафрагмы оказались выше допустимых для ступени с частичным подводом пара (рис. 2), что доказывает взаимосвязь поломок рабочих лопаток с значительными осевыми неравномерностями вследствие использования поворотной диафрагмы.

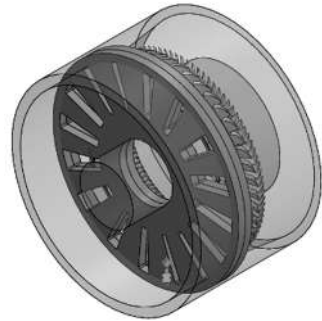


Рис. 1. Твёрдотельная модель послеотборной ступени с поворотной диафрагмой

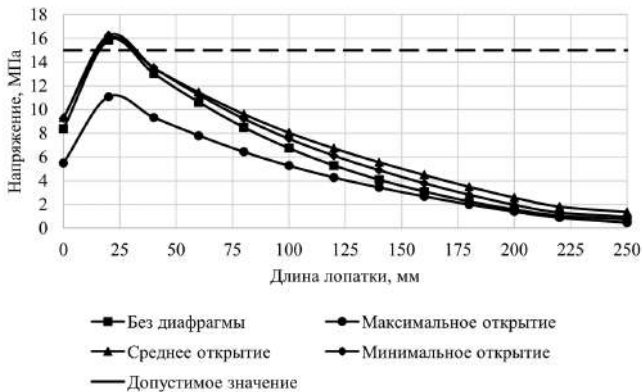


Рис. 2. Распределение изгибных напряжений от аэродинамических сил

*С.Н. Кулешов, студ.; рук. В.В. Попов, к.т.н. асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА ПРИМЕРЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВЫХОДНОГО ДИФФУЗОРА ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА**

Решение большинства инженерных задач в области турбомашиностроения связано с численным моделированием течения жидкостей или газов в каналах различной геометрии. При этом снижение ресурсоемкости таких вычислений всегда было одной из актуальных проблем. Основной задачей такой оптимизации как правило является минимизация времени, затраченного на компьютерное моделирование и расчет, при сохранении точности полученных результатов, поэтому весьма актуален вопрос об универсальной методике оценки, охватывающей если не все задачи газодинамики в целом, то хотя бы отдельный их класс.

Целью предложенного метода является минимизация затраченного времени на задание настроек расчетной сетки при сохранении приемлемой точности. Предложен алгоритм расчета входных параметров для сеточного генератора ANSYS ICEM, а также представлен газодинамический расчет канала выходного диффузора компрессора газотурбинной установки.

Граничными условиями были выбраны полные параметры давления и температуры на входе и расход на выходе из канала. Было выбрано оптимальное для данного канала значение  $y^+$  для полученного числа Рейнольдса на входе в рабочую область. Было учтено влияние явлений вязкости, возникающих вблизи стенок согласно теории механики несжимаемых и сжимаемых жидкостей [1], с учетом пограничного слоя и частных решений уравнения Навье — Стокса (1):

$$\delta = 5 \cdot \sqrt{\frac{\nu \cdot L}{c}}, \quad (1)$$

где  $\delta$  — величина пограничного слоя;  $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости потока рабочего тела;  $L$  — длина канала;  $c$  — скорость потока рабочего тела [2].

Применение данной методики в перспективе позволит уменьшить время, затрачиваемое на проведение численных исследований в программном комплексе ANSYS при сохранении приемлемой точности виртуального эксперимента.

### **Литература**

1. **Зарянкин А.Е.** Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей: учебник для вузов / А.Е. Зарянкин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 590 с.
2. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг, перев. с немецкого, Главная редакция физико-математической литературы издательство «Наука», Москва, 1974. — 712 с.

*М.М. Ерошин, студ.;*  
*рук-ли А.А. Тищенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);*  
*И.Ю. Гаврилов, к.т.н., вед. инженер (ООО «Сайберфизикс»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГТУ

Создание системы мониторинга для ретроспективного анализа и оценки надежности в реальном времени, а также прогнозирования надежности ГТУ на близкую перспективу позволит сократить затраты на эксплуатацию и ремонт энергетического оборудования.

Предиктивная диагностика с применением нейросетевых технологий позволяет отследить развитие дефектов в оборудовании за счет различия показаний диагностических параметров (такие как давление воздуха на выходе из компрессора или температура баббита опорного подшипника) с датчиков и показаний математической модели оборудования.

В работе будет рассмотрено два основных подхода при построении математических моделей оборудования: использование классических аналитических моделей и подход, основанный на применении нейросетей для построения модели ГТУ [1]. Аналитическая модель строится на основе уравнений, описывающих физические процессы, протекающие в энергетическом оборудовании. Для построения моделей на основе нейронных сетей закладывается физический смысл по взаимосвязи параметров и получение зависимостей происходит на ретроспективных данных.

В докладе излагаются результаты применения ПО CyberStudio для создания математической модели ГТУ [2]. Для задач регрессии используется полносвязная нейронная сеть-многослойный перцептрон (рис. 1) Такой тип регрессионных математических моделей хорошо описывает сложные нелинейные взаимоотношения между вектором входных параметров и вектором выходных параметров.

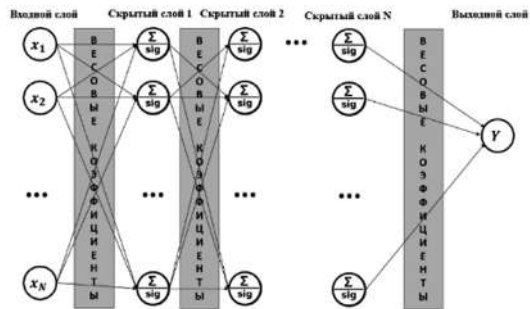


Рис. 1. Обобщенная структура нейронной сети

### Литература

1. **H. Hanachi** Turbine Engine Performance Estimation and Prediction // Thesis, 2015.
2. Официальный сайт ООО «САЙБЕРФИЗИКС»: <https://cyberphysics.xyz> (дата обращения 30.10.2022).

*О.С. Толкачев, асп.; рук. А.Ф. Медников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННО-КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ ТУРБИН АЭС**

Трубопроводы водяного и влажно-парового трактов турбин АЭС подвергаются эрозионно-коррозионному износу (ЭКИ) [1], вследствие которого происходит утонение стенок, что с течением времени приводит к выходу из строя оборудования и аварийным ситуациям. В большей степени ЭКИ наблюдается в трубопроводах конденсата греющего пара и цилиндрах высокого и низкого давлений. Интенсивность ЭКИ зависит от следующих факторов: химического состава металла и рабочей среды, гидродинамики потока, концентрации твердых частиц и т.п. [2]. Для снижения интенсивности ЭКИ используют различные способы защиты: применение высоколегированных сталей и эрозионно-стойких наплавов, соблюдение водно-химического режима. Обзор литературных источников показал, что на сегодняшний день проблема ЭКИ до конца не решена.

Для разработки эффективного способа защиты планируется проведение экспериментальных исследований для выявления закономерностей износа материалов трубопроводов в исходном состоянии и с различными вариантами модификации поверхности, а также разработка модели износа в расчетных CFD пакетах с использованием САД систем. Для исследований процессов ЭКИ разработан проект экспериментального стенда, представляющего участок трубопровода, моделирующий реальное течение двухфазной среды, с учетом факторов, влияющих на интенсивность ЭКИ: температуры, физико-химических свойств металла, скорости среды, показателей водно-химического режима, геометрических характеристик канала. Стенд позволит получить новые знания о влиянии воздействия данных факторов на интенсивность ЭКИ с получением зависимостей износа исходной/модифицированной поверхности металла для прогнозирования его ресурса. Уникальность данного стенда состоит в возможности исследования влияния гидродинамики потока с содержанием твердых частиц на интенсивность ЭКИ, а также исследования участка трубопровода под действием искусственно созданных внешних напряжений. Характеристики стенда: исследуемый участок — гиб, материал трубопровода — сталь 20, скорость потока до 3 м/с, давление от 0,3 МПа, температура до 90°С.

### **Литература**

1. **Кузьмин Д.А., Бараненко В.И.** Разработка зависимостей расчета локальных скоростей коррозии и толщин стенок трубопроводов при эрозионно-коррозионном износе // Тяжелое машиностроение, 2020, стр. 1–7.
2. **Tomarov G.V., Shipkov A.A., Komissarova T.N.** Factors and Mechanisms Causing Wear of Turbine Heating Steam Condensate Pipeline Components at a Nuclear Power Plant // Thermal engineering, 2019, стр. 1–9.

*С.С. Алексеев, студ.; рук. И.Л. Ионкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ ВСГ В КОТЛЕ № 2 ТЭЦ МЭИ**

За последнее десятилетие водород привлёк внимание как перспективный энергоноситель, призванный заменить традиционные виды топлив. Использование водорода позволит существенно снизить выбросы парниковых газов. Ряд стран приняли программы исследований и коммерциализации в области получения водорода и его использования на транспорте и в энергетике. Правительство РФ выпустило распоряжение от 05.08.2021 г. № 2162-р о Концепции развития водородной энергетики в РФ. Один из вариантов использования водорода — сжигание водородосодержащих газов (ВСГ) в котлах. Однако свойства водорода существенно отличаются от свойств природного газа. В связи с этим актуальным является оценка работоспособности котлов при сжигании ВСГ с большой концентрацией водорода. Такая оценка была выполнена для котла № 2 ТЭЦ МЭИ БМ-35РФ.

Многовариантные тепловые расчеты котла были выполнены при помощи программы Boiler Designer на разработанной ранее модели котла № 2 ТЭЦ МЭИ. Рассматривался диапазон работы оборудования при добавлении водорода в метановодородную смесь от 0 до 100% с шагом 10%.

Анализ результатов расчетов показал следующее:

Температура уходящих газов падает с ростом доли водорода в ВСГ, что приводит к снижению потери теплоты с уходящими газами  $q_2$  и некоторому увеличению КПД котельного агрегата.

Объёмный расход топлива на котел значительно возрастает, а объёмы необходимого для горения воздуха и продуктов сгорания снижаются.

С ростом доли водорода в ВСГ температура продуктов сгорания на выходе из топki увеличивается, а температура за котлом наоборот снижается.

Установлено, что номинальные параметры работы котла поддерживаются до определенной доли водорода в ВСГ. При дальнейшем увеличении доли водорода требуются изменение режима или конструкции котла. Например, ввод газов рециркуляции.

Полученные результаты исследования будут использованы при разработке мероприятий для нормальной работы котла при сжигании ВСГ. Личный вклад авторов заключается в проведении расчетов и анализе полученных результатов.

Д.А. Петрухин, студ.; рук. А.П. Слива, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО РЕЛЬЕФНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВОЛЬФРАМА

В докладе отражены результаты теоретических и практических работ по исследованию применения электронно-лучевого (ЭЛ) модифицирования поверхности вольфрама.

Модифицирование поверхности может применяться для создания разнородного соединения вольфрамо-медных композиций в производстве конструкции дивертора для термоядерного реактора.

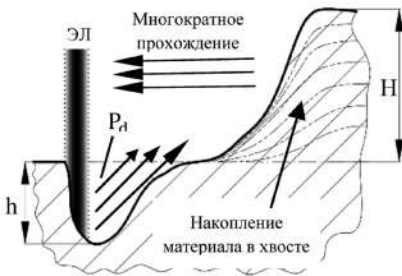


Рис. 1. Схема рельефа модификации (штрихпунктирная линия — поверхность изделия)

Под модифицированием в данной работе подразумевается создание разветвленных трехмерных форм на поверхности материала. Осуществляется это за счет быстрого и многократного движения электронного луча по материалу, который плавит и вытесняет расплав динамическим напором испаряемого материала  $P_d$  в хвостовую часть (рис. 1). Данная технология получила название Surfi-Sculpt [1].

Оценку модификации поверхности проводили по таким геометрическим характеристикам как высота пика  $H$  и глубина канавки  $h$ . Экспериментально и теоретически исследовали зависимость  $H$  и  $h$  от тока луча мА, скорости движения луча мм/с, количества проходов и характера движения луча по траектории развертки.

На основе сравнительного анализа полученных модификаций поверхности с теоретическими расчетами при разных режимах ЭЛ можно заключить следующее:

- основным параметром, влияющими на геометрические характеристики получаемой модификации, являлся ток электронного луча;
- характер движения луча по развертке заметно влияет на интенсивность переноса расплава из сварочной ванны;
- теоретический расчет глубины проплавления методами И.В. Зуева совпадает с экспериментальными значениями до 40 проходов лучом.

Используемая в работе технология может применяться для создания прогнозируемой формы поверхности.

### Литература

1. Caroline Earl, Paul Hilton, Bill O'Neill. Parameter influence on Surfi-Sculpt processing efficiency. Physics Procedia 39, 2012. P. 327–335.



*И.А. Никитин, асп.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО УПЛОТНЕНИЯ ДЛЯ ТУРБИН АЭС**

В НИУ «МЭИ» на базе прямоугольно-ячеистых уплотнений [1] была разработана конструкция специального периферийного уплотнения для использования в ступенях турбин АЭС [2]. Особенностью нового типа прямоугольно-ячеистых уплотнений для влажнопаровых ступеней является возможность удаления капельной влаги из надбандажного пространства между роторной и статорной частью уплотнения, т.е. как раз из той области ступени, где концентрируется наиболее крупнодисперсная влага. В [3] была экспериментально показана принципиальная возможность удаления до 35% влаги из зазора между роторной и статорной частью такого уплотнения. В развитие этой идеи была спроектирована и запатентована новая конструкция периферийного уплотнения для влажнопаровых ступеней турбин [4]. Особенностью нового типа уплотнения является то, что его статорная часть состоит из параллельных колец, которые по сути являются гребнями прямоточного уплотнения и могут компоноваться с любой роторной частью. Эти кольца жестко соединены наклонными пластинами, увеличивающими смачиваемую поверхность и направляющими влагу к сливным отверстиям в статорной части. При проведении тестовых испытаний новой модели уплотнения на воздушном стенде «ДМУ» с впрыском воды через форсуночный узел, установленный на входе в уплотнение, было показано, что новый тип уплотнения существенно эффективней испытанного ранее. На всех исследованных режимах с его помощью удалось удалить в 2–3 раза больше подаваемой на уплотнение воды по сравнению с уплотнением, испытанным в [3].

### **Литература**

1. **Грибин В.Г., Лемешков С.В., Дмитриев С.С., Петрунин Б.Н., Наумов В.В.** Уплотнение паровой турбины. Патент на полезную модель № 138107 от 05.02.2014 года.
2. **Грибин В.Г., Дмитриев С.С., Петрунин Б.Н., Гусев А.А.** Периферийное уплотнение паровой турбины. Патент на полезную модель № 171111 от 22.05.2017 года.
3. **Грибин В.Г., Дмитриев С.С., Петрунин Б.Н., Ахмед М.Э.А.Э.** Исследование сепарационной способности нового периферийного уплотнения НИУ МЭИ. Теплоэнергетика. 2020, № 6, С. 21–27.
4. **Грибин В.Г., Дмитриев С.С., Петрунин Б.Н.** Уплотнение влажнопаровой ступени турбины. Патент на полезную модель № 206652 от 21.09.2021 года.

*Х. Ганди, Е. Канисарес, студенты;  
рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСШИРЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНОГО ДИАПАЗОНА ПГУ ПУТЕМ УСТАНОВКИ В ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ СТУПЕНИ-СЕПАРАТОРА**

Необходимость привлечения ПГУ, наравне с другими ТЭС, к регулированию частоты и мощности в энергосистеме требует эксплуатировать ПГУ на пониженных нагрузках. Отличительной особенностью ПГУ является то, что их регулировочный диапазон имеет разрыв, составляет примерно 10% номинальной мощности одной ГТУ, в котором эксплуатация блока нежелательна не только из-за ухудшения экологических характеристик блока, но также из-за снижения надежности работы паровой турбины ввиду повышенной влажности за ней и эрозионного износа рабочих лопаток [1].

Наряду с другими мероприятиями по расширению регулировочного диапазона предлагается для снижения конечной влажности встроить в проточную часть ЦНД ступень-сепаратор в качестве предпоследней ступени.

Ступень с повышенной сепарационной способностью (ступень-сепаратор) была разработана авторским коллективом МЭИ совместно с Калужским турбинным заводом для сепарации влаги из проточной части геотермальной турбины К-25-0,6 ГЭО Мутновской станции [2].

Предлагаемая модификация ступени-сепаратора предназначена для использования в проточной части ЦНД турбины К-200-15,5 (прототип ЛМЗ) в качестве предпоследней ступени. Данная ступень должна иметь не только внутриканальную и развитую периферийную сепарацию, но и зубчиковые рабочие лопатки, а также малый располагаемый теплотерпад  $H_0$ , повышенный зазор между сопловыми и рабочими лопатками на периферии  $z_{п.отн} = z_{п}/l_2$  и уменьшенный шаг рабочих лопаток  $t_{2отн}$ .

Расчет данной ступени по программе Stup\_dl, разработанной на кафедре ПГТ НИУ «МЭИ» для ступеней большой веерности, показал, что экономичность такой ступени составляет  $\eta_{oi} = 79\%$ . При снижении мощности эффективность сепарации растет, достигая значения  $\Psi = 50\%$ , что позволяет уменьшить влажность за турбиной до значений при номинальном режиме.

### **Литература**

1. **Буров В.Д.** Исследование возможности расширения регулировочного диапазона ПГУ / Буров В.Д., Теплов Б.Д. // Материалы международной н.-т. конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологий», Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2015, с. 15–18.
2. **Дейч М.Е.** Исследование специальных турбинных ступеней-сепараторов / М.Е. Дейч, В.И. Кириухин, Г.А. Филиппов и др. // Теплоэнергетика. 1974, № 8, с. 20–23.

*В.А. Шелопаев, Н.А. Тоненьков, Д.Ю. Мочалов, студенты;  
рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛА Е-150-3,9-440КТ**

Несмотря на новую концепцию развития энергетики, на реализацию которой потребуется не одно десятилетие, исследование работы паровых котлов еще долгое время будет востребовано. Энергетический кризис в Европе убедительно показал, что нельзя обеспечить энергетическую безопасность страны только за счет возобновляемых источников энергии. Поэтому тема работы актуальна.

Котел Е-150-3,9-540КТ был спроектирован ЗиО для сжигания куучекин-ского угля марки СС. Котел однобарабанный, вертикально-водотрубный, имеет П-образную компоновку и работает с уравновешенной тягой. Он обслуживается двумя пылесистемами (ПС) с мельницами ШБМ 220/330 (Ш-6). Предусмотрены мероприятия по внутритопочному подавлению оксидов азота (ступенчатое сжигание, газовая сушка топлива).

Многовариантные тепловые расчеты котла и ПС были выполнены при помощи программы Boiler Designer. Рассматривалась работа котла на непроектном топливе: кузнецком угле марки 1СС. Нагрузка котельной установки изменялась от 100 до 60% с шагом 10%. Исследования проводились для двух режимов работы ПС: с коэффициентом запаса  $K_{\text{зап}} = 1,1$  и  $1,0$ .

Расчеты показали, что параметры перегретого пара поддерживаются на заданном уровне во всем рабочем диапазоне нагрузок при нормативных значениях коэффициента избытка воздуха. Это происходит благодаря нейтральной регулировочной характеристике ширм и экранов ограждения. Поэтому даже на нагрузке 60% сохраняется перепад энтальпии на пароохладителе порядка 54 кДж/кг. Если мельницы работают с  $K_{\text{зап}} = 1,1$ , то тепловой КПД котла получается немного больше. Это связано с тем, что при одинаковой температуре сушильного агента за ПС в них сжигается больше топлива. Поэтому отбор уходящих газов в пылесистемы меньше.

На нагрузке 60% уже возможна работа котла с одной отключенной мельницей. Для всех вариантов выполняются требования нормативных документов по скоростям теплоносителей и по значениям параметров в опорных точках тепловой схемы. КПД котла достаточно высок, он изменяется в диапазоне от 93,589% до 92,359%.

Проведенное исследование подтвердило возможность работы котла на непроектном топливе. В этом состоит практическая ценность работы. Личный вклад авторов заключается в создании файлов исходных данных, проведении расчетов и анализе полученных результатов.

*Д.В. Гладких, С.С. Алексеев, И.Т. Джомидава, студенты;  
рук-ли В.М. Супранов, к.т.н., доц.,  
М.Н. Зайченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОТЛА Е-320-9,8-540БТ И ПЫЛЕСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В настоящее время несмотря на рост применения ВИЭ для генерации энергии значительное замещение традиционных способов получения энергии за счет сжигания органического топлива на пылеугольных или газомазутных котлах в ближайшем будущем не ожидается. По этой причине разработка новых котельных установок на органическом топливе и исследование их работы является актуальной задачей как минимум на ближайшие десятилетия.

В работе рассматривается совместная работа котла и пылесистемы. Котел Е-320-9,8-540БТ был спроектирован ЗиО для сжигания березовского угля. Запасы этого топлива очень велики, а добыча не дорогая. Котел однобаранный, вертикально-водотрубный, имеет П-образную компоновку и работает с уравновешенной тягой. Предусмотрены мероприятия по внутритопочному подавлению оксидов азота (ступенчатое сжигание, газовая сушка топлива). Газы на сушку отбираются из верхней части топки и за дымососами.

Многовариантные совместные тепловые расчеты котла и пылесистемы (ПС) были выполнены при помощи программы Boiler Designer. Работа оборудования рассматривалась во всем рабочем диапазоне от 50% до 100%. Анализ результатов расчетов показал, что работа котла существенно зависит от количества включенных мельниц-вентиляторов (М-В). Это обусловлено тем, что вентиляционная производительность М-В практически не изменяется при снижении их сушильной производительности, а отбор газов на рециркуляцию влияет на КПД котла и расход топлива. Это влияние тем заметнее, чем больше газов отбирается и чем дальше по тракту происходит отбор.

Из-за уменьшения расхода топлива со снижением нагрузки необходимо отключать отдельные пылесистемы. Установлено, что на нагрузках свыше 70% могут работать четыре М-В. При нагрузке 70% и менее целесообразно отключить одну М-В. Это позволит увеличить КПД котла с 91,14 до 91,56%.

Практическая ценность исследования состоит в поиске оптимальных режимов работы оборудования, а личный вклад авторов — в моделировании работы котла и ПС, проведении комплексных расчетов и анализе полученных результатов.

*А.В. Суворова, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТУПЕНЧАТОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО КОМПРЕССОРА**

В настоящее время использование газотурбинных установок (ГТУ) в энергетике все больше набирает свою популярность, а ученые постоянно стараются усовершенствовать их. Коэффициент полезного действия (КПД) современных ГТУ достигает порядка 40%. Одним из способов создания более экономичной ГТУ является снижение удельной работы компрессора за счет применения охлаждения рабочего тела, как на входе в компрессор, так и за счет применения промежуточного охлаждения.

В классическом подходе промежуточное охлаждение при сжатии воздуха в проточной части компрессора осуществляется в теплообменных аппаратах, что существенно усложняет конструкцию ГТУ и увеличивает капитальные затраты на ее сооружение. Современные технологические достижения позволяют реализовать промежуточное охлаждение путем подвода и впрыска охлаждающей жидкости непосредственно в проточную часть компрессора.

Проведенный обзор литературных источников показал, что при впрыске воды в тракт компрессора процесс сжатия сопровождается потерями из-за неравновесного испарения, а с ростом расхода воды эффективность охлаждения снижается [1]. Кроме того, существующие системы подготовки дисперсной среды позволяют получить капли размером около 20 мкм, что также ограничивает повышение расхода воды с учетом возможности ее полного испарения в тракте компрессора.

Данные недостатки можно снизить путем поступенчатого впрыска воды в тракт компрессора, обеспечив тем самым приближение процесса испарения к равновесному и повысив расход воды. Как показали проведенные расчеты, оптимальным, с точки зрения повышения мощности и эффективности ГТУ, является впрыск воды после первых ступеней компрессора.

При этом для снижения интенсивности конденсации пара на каплях, впрыскиваемых в ступенях, расположенных дальше от входа, необходимо производить предварительный подогрев воды, например, выполнив в направляющих лопатках каналы, через которые пропускать расход воды, обеспечив тем самым дополнительное охлаждение рабочего тела в компрессоре и нагрев воды. Для оценки эффективности данного решения была разработана математическая модель первой ступени компрессора с полыми направляющими лопатками.

### **Литература**

1. **White J., Meacock A.J.** An Evaluation of the Effects of Water Injection on Compressor Performance // *Journal of Turbomachinery*, Vol. 126, 2004. pp. 748–754.

*Д.А. Шумилин, асп.;*  
*рук. О. М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АРХИТЕКТУРА ПРОЕКТА РАСЧЁТА ТУРБИНОЙ СТУПЕНИ**

Ускорение этапа проектировочного расчёта проточной части турбин с умной оптимизацией задаваемых параметров может существенно сократить количество итераций расчётов методами CFD. Это ускорение возможно реализовать посредством более автоматического и быстрого подбора начального приближения для геометрии проточной части с учётом прочностных и вибрационных характеристик лопаток.

Главной компонентой в основе любого программного пакета является его архитектура. Правильно выбранное архитектурное решение позволяет держать кодовую базу простой, масштабируемой, универсальной и легко модифицируемой.

Понятие архитектуры проекта неразрывно связано с понятием абстрактных объектов. Абстрактные объекты могут описывать как действительные физические объекты, так и вспомогательные технические образы, помогающие реализовать задуманный функционал. Турбину, с точки зрения проектирования, логично разделить на три укрупняющихся блока: ступень турбины, группу ступеней объединить в блок цилиндра, группу цилиндров объединить в блок объекта турбины.

В данной работе предложена архитектура расчётов проточной части многовечной трёхмерной турбинной решётки. Архитектура расчёта ступени состоит из блоков:

- 1) Блок структур данных.
  - 1.1) Блок абстракций термодинамических параметров и процессов.
  - 1.2) Блок абстракций поверх треугольников скоростей.
  - 1.3) Блок абстракций геометрии решёток.
  - 1.4) Блок абстракций потерь ступеней.
  - 1.5) Блок абстракций группы решёток.
  - 1.6) Блок абстракций ступени.
- 2) Блока расчёта термодинамических параметров газа для идеального и полуидеально газа.
- 3) Независимый блок расчёта прочности и вибрации турбинных лопаток.
  - 3.1) Абстрактный блок функциональных расчётов.
  - 3.2) Блок абстракций расчёта прочности и вибрации лопаток.
- 4) Блок абстракций турбинных решёток.
- 5) Блок абстракции осевой турбинной ступени.

### **Литература**

1. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Турбины тепловых и атомных электрических станций. М.: Издательство МЭИ, 2001.

*Д.О. Мишин, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ПЕРЕД КОМПРЕССОРОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Как известно газотурбинная установка (ГТУ) чрезвычайно чувствительна к изменению многих факторов, в частности, к изменению параметров окружающей среды [1]. Так снижение температуры наружного воздуха на 10°C приводит к увеличению удельной полезной работы ГТУ на 6...10% и повышению КПД ГТУ на 1,5...3%.

Одним из широко распространенных способов снижения температуры воздуха на входе в компрессор является впрыск воды перед входным направляющим аппаратом [2]. Указанный способ целесообразно применять при высоких температурах окружающего воздуха с небольшой относительной влажностью. Как показывают расчеты, впрыск 1% воды от расхода воздуха в компрессоре может повысить КПД ГТУ на 3%.

С другой стороны при снижении температуры наружного воздуха до 3...5°C при высокой влажности воздуха (более 70%) происходит обледенение элементов входного тракта ГТУ [2]. Поэтому в зависимости от климатических условий эксплуатации ГТУ она может оснащаться антиобледенительной системой (АОС), предназначенной для предотвращения образования льда во входном тракте компрессора: фильтрах комплексной воздухоочистительной установки (КВОУ) и в первых ступенях компрессора.

Очевидно, что контур АОС, используемый в осенне-весенний период для подогрева воздуха, забираемого компрессором из атмосферы, в летний период может использоваться для его охлаждения.

Проведенные расчеты двух рассмотренных способов охлаждения воздуха перед компрессором на примере парогазовой установки мощностью 420 МВт, работающей в Московском регионе, на базе ГТУ типа GT-26 показали, что установка впрыска деминерализованной воды окупит себя приблизительно за 8 лет работы энергоблока, а в случае использования теплообменных поверхностей АОС, установленных в системе воздухозабора КВОУ, для охлаждения в летний период забираемого компрессором из атмосферы воздуха — приблизительно за 5 лет работы.

### **Литература**

1. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с.
2. **Агюл Х., Шахин Н.** Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки // Турбины и дизели, март-апрель 2011.

*А.В. Москвителева, студ., И.И. Трушков, студ.;  
рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА УСТРАНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГАЗОХОДА**

В настоящее время доля современных газотурбинных и парогазовых установок на российских ТЭС составляет порядка 19% [1]. На данный момент одной из наиболее актуальных задач электроэнергетической отрасли является обеспечение эксплуатационной надёжности газоотводящих труб, поскольку газовые участки, входящие в состав ПГУ и ГТУ, находятся в наиболее теплонпряженном состоянии. Из-за данного негативного эффекта именно эти зоны нуждаются в частом ремонте, что является следствием больших капитальных затрат.

Целью исследования является обеспечение надёжности работы металла газохода, расположенного на участке газового тракта, после компенсаторов ГТУ перед дымовой трубой, где достигаются температуры порядка 600°C. Основными задачами данной работы являются выявление причин повреждаемости газохода путем проведения его математического моделирования в ПО Ansys, а также разработка ряда конструктивных технических решений, направленных на устранение проблемы. Расчетная модель представляет собой только горизонтальный участок реальной конструкции действующего газохода, которая была выполнена в ПО Solidworks. Модель содержит не только сам газоход, но и кольцевые ребра жесткости с опорными конструкциями.

Путем проведения математического моделирования конструкции газохода было выявлено, что вследствие высокого теплонпряженного состояния металлическая поверхность деформируется и в конечном итоге разрушается (образование трещин). В результате проведенного исследования стало ясно, что данная конструкция газохода не способна выдерживать достаточно большие температуры, из-за чего долгосрочная работа данной установки не представляется возможной. Работа содержит несколько конструктивных решений, направленных на модернизацию конструкции газового тракта, а также обоснование оптимального конечного результата.

### **Литература**

1. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии (Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям) / РЭА Минэнерго России — Москва, 2022.



*Д.Ю. Мочалов, студ.;*  
*рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПЕРЕВОД КОТЛА ТПЕ-215 ХАБАРОВСКОЙ ТЭЦ НА НЕПРОЕКТНЫЙ УГОЛЬ**

В угольной энергетике РФ уже некоторое время назад наметилась тенденция по диверсификации поставщиков твердого топлива. Например, на Хабаровской ТЭЦ-3 сложилась следующая ситуация. Проектный Нерюнгринский уголь имеет высокую стоимость, а разрез исчерпывает свои запасы, в связи с чем станция начала искать уголь, который будет схож с проектным углем.

Котел типа Еп-670-13,8-545 КТ (заводская модель ТПЕ-215) с естественной циркуляцией и сухим шлакоудалением предназначен для получения перегретого пара высокого давления при сжигании Нерюнгринского угля марки СС.

Выполнено предварительное исследование возможности сжигания непроектного угля Эльгинского месторождения на котлах ТПЕ-215 Хабаровской ТЭЦ-3. Проанализированы основные свойства непроектного угля. Выполнены расчёты работы котла при использовании двух углей. По результатам расчётов проанализированы особенности работы оборудования при поступлении непроектного угля.

В результате расчета в программе Boiler Designer для непроектного угля расчётная допустимая по условиям шлакования температура газов на выходе из топki составляет 1121°C, фактическая расчётная температура при номинальной нагрузке — 1116°C. Можно сделать вывод о том, что при штатном режиме работы котла шлакования поверхностей на выходе из топki быть не должно.

Расчёты показывают, что при использовании непроектного угля параметры перегретого пара соответствуют номинальным значениям. Расход непроектного топлива оказывается несколько выше ввиду меньше теплоты сгорания, но в целом разница с проектным углем незначительна. Уровень температур на выходе из топki практически не меняется при переходе на непроектное топливо, однако при этом имеет место рост температуры уходящих газов на 2,5°C. Этим обусловлено снижение КПД котла при переходе на непроектное топливо: для проектного угля КПД котла составляет 92,54%, для непроектного — 92,13%.

Проведенное исследование подтвердило возможность работы котла на непроектном топливе без существенных изменений основных показателей работы котла. В этом состоит практическая ценность работы. Личный вклад авторов заключается в создании файлов исходных данных, проведении расчетов и анализе полученных результатов.

*Инь Хунсин, студ.; рук. А.Ф. Медников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Одной из наиболее широко распространенных причин повреждения и поломки рабочих лопаток мощных паровых турбин является совокупное воздействие коррозионно-активной среды и высоких переменных механических напряжений, приводящих к резкому снижению усталостной прочности лопаточных сталей. Интенсивность влияния коррозионной среды на сопротивление усталости определяется ее агрессивностью, структурным состоянием лопаточной стали, состоянием поверхности, геометрией и условиями нагружения. Исследования коррозионной усталости используемых и перспективных лопаточных сталей, а также разработка пассивных способов их защиты остаются актуальными до сих пор.

Для повышения усталостной надежности лопаток турбомашин предусмотрены различные способы, одним из которых является повышение предела выносливости. Это достигается проектированием лопаток и замковых соединений с возможно меньшими концентраторами напряжений в областях повышенной напряженности, разработкой новых лопаточных материалов с повышенным пределом выносливости или проведением упрочняющей обработки функциональной поверхности лопаток.

В настоящей работе проведен анализ коррозионно-усталостной прочности различных конструкционных сталей, а также сталей с покрытиями и различными типами упрочнения поверхности, на основе которого проведено ранжирование стойкости сталей к коррозионной усталости и сформированы требования к способам защиты их поверхностей.

Проведен теоретический расчет предела выносливости широко используемых лопаточных сталей 12Х13 и ЭИ961, результаты которого были сравнены с результатами экспериментального определения на усталостном стенде КУ-1 предела выносливости данных сталей на воздухе при симметричном изгибе с вращением на базе  $10^7$  циклов. Выявлена сходимости предлагаемого расчетного подхода в сравнении с экспериментальными данными.

### **Литература**

1. **Костюк А.Г.** Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов / Костюк А.Г. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 476 с.
2. **ГОСТ 25.504-82.** Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. Издательство стандартов, Москва, 1982, 80 с.

*В.А. Шелопаев, С.С. Алексеев, И.Т. Джомидава, Д.В. Гладких,  
Н.А. Тоненьков, Д.Ю. Мочалов, студенты;  
рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц,  
И.Л. Ионкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОТЛА БМ-35РФ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ**

В России существует программа перехода к «зеленой» энергетике за счет перевода тепловых электростанций в Европейской части страны на сжигание природного газа. Поэтому любые исследования, связанные со сжиганием газообразного топлива сейчас актуальны.

Котел БМ-35РФ (Е-50-3,9-440Г) имеет П-образную компоновку (Е и предназначен для работы в режиме с уравновешенной тягой. На котле были внедрены мероприятия по внутритопочному подавлению оксидов азота (ступенчатое сжигание с малыми избытками воздуха).

Многовариантные тепловые расчеты котла были выполнены по программе Boiler Designer. Было проведено несколько расчетных исследований. В каждом из них в широком диапазоне изменялся один из следующих параметров: паропроизводительность, избыток воздуха на выходе из топки  $\alpha_t$ , температура питательной воды, температура холодного воздуха  $t_{х.в.}$ .

Во всех вариантах расчета параметры перегретого пара поддерживаются на заданном уровне, поэтому можно сделать вывод, что котел работоспособен во всех рассмотренных режимах. Однако для поддержания температуры перегрева при снижении нагрузки до 60% и ниже приходилось увеличивать значение  $\alpha_t$ , что снижало экономичность работы. Тем не менее, КПД котла, в зависимости от варианта расчета, изменялся от 91,677 до 94,269%. Для негерметичных котлов, сжигающих газ, это хороший показатель экономичности.

При нормальной работе ТЭЦ МЭИ температура питательной воды  $t_{п.в.}$  составляет 145°C. Однако возможны режимы работы станции с отключенными подогревателями высокого давления. В этом случае значение  $t_{п.в.}$  снижается. Расчеты показали, что за счет роста температурного напора на экономайзере КПД котла увеличивается. Что касается режимов работы котла с увеличенным значением  $\alpha_t$ , то они не желательны, потому что экономичность работы снижается. Исследование влияния на работу котла  $t_{х.в.}$  показало, что ее снижение не желательно. Обычно она составляет 30–40°C, и такие режимы предпочтительны.

Полученные результаты могут быть использованы для поиска оптимальных режимов работы котла и обновления режимных карт. В этом состоит практическая ценность работы. Личный вклад авторов заключается в проведении расчетных исследований и анализе полученных результатов.

**Секция 50**  
**ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ, НАДЕЖНОСТИ**  
**И КОНСТРУИРОВАНИЯ**  
**Problems of technology, reliability,**  
**and designing**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Сергей Федорович*

*Секретарь секции: к.т.н. Шипков Андрей Анатольевич*

А.Д. Иваницкий, студ. ;  
 рук. М.Н. Кирсанов, д-р физ.-мат. наук, проф. (НИУ «МЭИ»)

## ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ ПИРАМИДЫ

Пространственные конструкции содержат большое число элементов, вызывающих при численном расчете трудности с накоплением ошибок округления, приводящих к потере точности. Если же конструкция регулярная и в ней можно выделить периодически повторяющуюся группу стержней, то для преодоления сложностей могут быть использованы аналитические методы, например, метод индукции, применяемый для вывода формулы для нижней оценки первой собственной частоты колебаний фермы по методу Донкерлея [1].

В аналитической форме в *Maple* найдена зависимость нижней границы первой собственной частоты колебаний фермы (рис. 1) от ее размеров, массы ( $m=500$  кг) и количества панелей (рис. 2). Сравнение аналитического решения с численным (для оценки погрешности решения вводится относительная величина  $\epsilon=(\omega_1-\omega_D)/\omega_1$ ) показывает, что точность аналитической оценки собственной частоты снизу возрастает с увеличением числа панелей (рис. 3).

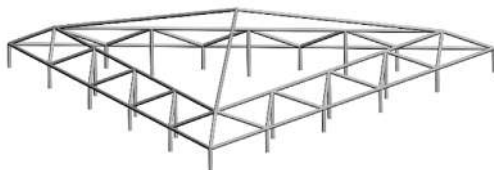


Рис. 1. Треугольная пирамида при  $n = 5$

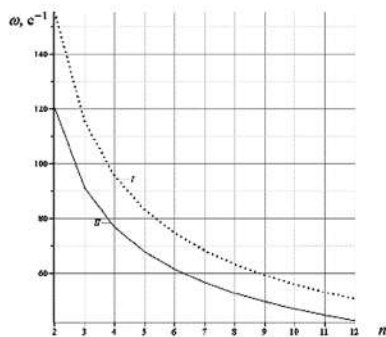


Рис. 2. Первая частота колебаний фермы в зависимости от числа панелей, где I — частота  $\omega_D$  полученная по методу Донкерлея; II — первая частота спектра  $\omega_1$ , полученная численно

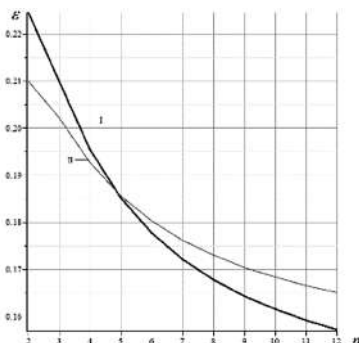


Рис. 3. Относительная погрешность оценки методом Донкерлея, где I —  $h=2$  м; II —  $h=3$  м

### Литература

1. Kirsanov M.N. Deformations and natural frequency spectrum of a planar regular truss with a triangular lattice // Строительная механика и конструкции. 2022. № 1(32). С. 57–68.

*А.В. Киселев, асп.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОДБОР ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОСАДКИ ВЕРТОЛЕТА КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Цель исследования — нелинейный динамический анализ модели летательного аппарата (ЛА) с устройством принудительной посадки в условиях качки на корабле.

Задачи исследования:

- вывод уравнений движения ЛА с учетом нелинейной работы амортизационных стоек шасси;
- расчет нагрузок на стойки шасси и инерционных перегрузок агрегатов ЛА в зависимости от времени при различных параметрах устройства принудительной посадки;
- исследование динамики ЛА с устройством принудительной посадки в зависимости от его конструктивных параметров (крепление к фюзеляжу, крепление к палубе);
- прогнозирование безопасности от автоколебаний типа земной резонанс;
- исследование устойчивости летательного аппарата на качающейся палубе корабля [1];
- моделирование процесса посадки летательного аппарата с использованием устройства принудительной посадки на качающуюся палубу корабля;
- определение характеристик устройства принудительной посадки по результатам моделирования.

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью разработки методики проектирования устройств принудительной посадки для ЛА корабельного базирования.

Новизна проведенных исследований состоит в разработке динамической модели колебаний ЛА на судне с учетом нелинейной работы амортизационных стоек шасси (нелинейная жесткость и однонаправленная работа на обжатие) и в подходе к проектированию устройства принудительной посадки.

Исследование проведено с использованием расчетного комплекса Siemens Motion, применен решатель «Динамика». Модели могут быть применены для создания «цифровых двойников» реальных физических конструкций.

### **Литература**

1. **Соковиков Ю.Г.** Применение вертолетов с авианесущих кораблей. Москва 1989.

*А.Ю. Зайцев, аспирант; рук. А.П. Слива, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ТРУБ ИЗ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Zr-2,5%Nb**

В настоящее время для сварки изделий из циркониевых сплавов широко применяются методы лазерной сварки, электронно-лучевой сварки (ЭЛС) и сварки сопротивлением [1]. Это связано с тем, что данные методы позволяют получить швы, характеризующиеся низкой степенью структурно-фазовой неоднородности, относительно небольшим размером зерна, малой протяженностью зоны термического влияния (ЗТВ), высоким уровнем механических свойств и коррозионной стойкости, однако при небольших габаритах сварных соединений, наблюдается перегрев металла шва, что приводит к снижению коррозионной стойкости и механических характеристик.

В связи с чем проводили отработку технологии импульсной ЭЛС на образцах, представляющих собой трубы из сплава Zr-2,5%Nb диаметром 12х2,6 мм, длиной 150 мм. Сварку выполняли за один проход, без использования присадочной проволоки.

В результате обработки установили диапазон режимов импульсной ЭЛС, в котором формируются качественные сварные соединения, обладающие высоким уровнем механических свойств, в сравнении с соединениями, полученными непрерывной ЭЛС. Неразрушающий контроль не выявил внешних и внутренних дефектов.

Исследование микроструктуры показали, что размер зерен металла шва и ЗТВ образцов выполненных импульсной ЭЛС меньше, чем образцов выполненных непрерывной ЭЛС. Степень структурно-фазовой неоднородности полученных сварных соединений ниже, чем сварных соединений выполненных непрерывной ЭЛС.

По результатам исследований сделан вывод о необходимости проведения коррозионных испытаний образцов, полученных при применении разработанной технологии, с целью выявления влияния импульсной ЭЛС и связанным с ним снижением степени структурно-фазовой неоднородности металла шва и ЗТВ на повышение антикоррозионных характеристик сварных соединений.

### **Литература**

1. **Mikhail Slobodyan.** Resistance, electron- and laser-beam welding of zirconium alloys for nuclear application: A review. Nuclear Engineering and Technology, 2020.

*Т.М. Коршунов, студ.; Р.С. Маслов, асс.;  
рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБ**

В процессе эксплуатации трубы котлов могут подвергаться разрушающему воздействию, которое зависит от локальных условий работы: неравномерности, характера течения, состава теплоносителя и рабочего тела, а также их параметров, и других факторов.

Анализ поперечного сечения поврежденной трубы способен ограничить и определить физические процессы, которые явились причиной снижения надежности работы системы. При повреждении наружного контура трубы причиной являются процессы со стороны продуктов сгорания такие как: коррозия, износ золовыми частицами и т.д. При утонении стенки трубы с внутренней стороны причиной повреждений являются физические процессы со стороны рабочего тела (эрозия, коррозия, и т.д.). В исключительных случаях возможно утонение наружной и внутренней поверхностей и совокупная работа нескольких факторов.

Исследования проводились на основе изучения калачей экономайзера, а также участка отводящей трубы. Научная работа проводилась путем графического сравнения исходного типоразмера трубы и исследуемых поврежденных образцов. Для поврежденных образцов осуществлялась фотосъемка, проводилась оптическая коррекция снимков и выполнялся экспорт в САD-систему. В САD-системе выполнялось приведение фотоснимков к натуральному масштабу 1:1 для дальнейшего сравнения. После совмещения фотоснимков и исходного неповрежденного типоразмера трубы проводилось определение величин утонений стенки трубы, анализировался характер и места повреждений.

Данная методика позволила локализовать причины повреждения труб, и, тем самым, определить группу специалистов для дальнейшего углубленного поиска причин повреждений и решения проблемы. Правильная классификация причин позволит ускорить нахождение возможного решения и сэкономить ресурсы.

Анализ повреждений труб экономайзера и отводящей трубы показал, что утонение стенки отводящей трубы произошло с внутренней стороны, а труб экономайзера — с внешней. Таким образом, для дальнейшего исследования отводящей трубы предполагается обращаться к специалистам по водно-химическому режиму, а для исследования калачей экономайзера — к специалистам по ведению топочных процессов.



*Ю.Ю. Иванова, студ.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ТРЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ ЛУГРЕ**

Цель исследования – разработка программных алгоритмов для моделирования гистерезисного поведения по модели трения ЛуГре.

Задачи исследования:

- математическая постановка задачи «Системы с трением по модели ЛуГре» — описание зависимости силы трения от относительных скорости и перемещения, описание входных и выходных параметров, вывод уравнения движения системы с одной степенью свободы [1], [2];
- подготовка алгоритмов и программных кодов двух задач: функция, моделирующая поведение по заданной модели трения, и основная программа для решения дифференциального уравнения;
- отладка и тестирование расчетной части модулей;
- разработка примеров моделей систем с гистерезисом и анализ их динамического поведения при циклических нагрузках.

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью изучения нелинейных динамических систем для создания достоверных имитационных моделей технических объектов, в том числе «цифровых двойников», а также разработки программных модулей для моделирования гистерезисного поведения элементов машиностроительных конструкций, с надежным прогнозом динамической реакции системы.

Новизна проведенных исследований состоит в разработке отечественного программного модуля для имитационного моделирования нелинейной работы элементов механических систем по динамической модели трения ЛуГре.

Проведенное исследование поведения нелинейных систем по модели трения ЛуГре, а именно — анализ полученных фазовых траекторий и резонансных частот, выполнено с применением расчетного комплекса MATLAB и применением среды для моделирования и симуляции динамических систем Simulink.

### **Литература**

1. **T. Piatkokowski.** Dahl and LuGre dynamic friction models. The analysis of selected properties // Mechanism and Machine Theory. — 2014.
2. **Jerzy Wojewoda, Andrzej Stefanski, Tomasz Kapitaniak, Marian Wiercigroch.** Hysteretic effects of dry friction: modelling and experimental studies // Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences. — 2007.

*С.В. Попиль, асп.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ ЛОКАЛЬНЫЕ УТОНЕНИЯ СТЕНОК**

Трубопроводные сети электрических станций являются неотъемлемой частью их функционирования. В строительных и наладочных стадиях подготовки к запуску станции затраты на изготовление и установку магистралей не превышают 10% от стоимости проекта, но без данной системы был бы невозможен перенос носителя, топлива, смазочных материалов. Поэтому вопрос исследования надежности и обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов электрических станций является актуальным.

Был выполнен аналитический обзор исследований отечественных и зарубежных авторов, занимающихся тематикой оценки влияния локальных утонений на ресурс трубопроводов, выявлены перспективные направления исследований. Такие утонения возникают вследствие эрозионно-коррозионного износа и имеют случайную форму поверхности. Целью данной работы было проанализировать влияние схематизации утонения трубопровода на напряженно-деформированное состояние и исследование возможности применения схем упрощенных твердотельных моделей для оценки несущей способности магистралей. Выполненные работы направлены на совершенствование теории оценки надежности трубопроводов различных типоразмеров.

Результаты, полученные авторами в ходе моделирования с использованием МКЭ являются новыми, качественно соответствуют (количественно погрешность в упругой зоне не превышает 5% и идет в запас прочности) опубликованным данным [1] и зависимостям, приведенным в [2].

Значения напряжений, полученные в данной работе, можно использовать для формирования типовой базы ресурсных характеристик трубопроводов с дефектами, на основе которой вносить дополнения в нормы для оценки ресурсных характеристик, тем самым сокращая время на анализ.

### **Литература**

1. **Mojtaba Mokhtari, Robert E. Melchers.** A new approach to assess the remaining strength of corroded steel pipes // *Engineering Failure Analysis*. 2018. № 93.
2. **Hsu Yang Shang.** A methodology for analysis of defective pipeline by introducing stress concentration factor into beam-pipe finite element formulation // *Acta Scientiarum. Technology*. 2019. № 3.

*Д.А. Тябуськин, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

Роль трубопроводного транспорта в системах нефтегазовой, химической, атомной отраслях промышленности чрезвычайно высока, вследствие чего необходимо тщательно подходить к вопросу о создании новых и обслуживании уже существующих элементов энергетического оборудования. Современные элементы энергетики в процессе работы подвержены различным силовым воздействиям, в том числе и воздействию со стороны потока рабочей среды. Определение кинематических и силовых факторов в этих элементах в зависимости от параметров потока среды, таких как скорость, давление, расход, площади проточной части, а также геометрических характеристик рассматриваемого элемента является актуально проблемой. Особое внимание уделяется рассмотрению эксплуатационных качеств оборудования, что связано с ужесточением условий для использования рассматриваемых узлов. Завышенные требования возникают из-за необходимости предотвращения аварий, которые приводят не только к финансовым, но и экологическим проблемам.

Целью данной работы является определение характера течения рабочей среды, проходящей через поворотный затвор регулировочного типа, изучение влияния угла закрытия, а также параметров потока, таких как скорость и давление и расход на прочность рассматриваемых узлов. Также оптимизация конечно-элементной сетки для ускорения решения и получения более качественных результатов было предметом проведенных исследований.

Личный вклад автора заключается в подборе оптимальных параметров потока, проведении расчётов, а также анализе полученных результатов.

В качестве рассматриваемого элемента энергетического оборудования выступает поворотный затвор регулировочного типа, который работает на низких давлениях, из-за чего влияние гидродинамического напора на НДС узла оказалось более ярко выражено.

Ценность данных исследований заключается в том, что полученные в ходе расчётов данные могут быть использованы при решении практических задач, в которых необходимо знать влияние потока рабочей среды на конструкцию. В результате открывается возможность подобрать оптимальные параметры потока, при этом повысить эксплуатационную надёжность изучаемой арматуры.

*И.В. Ульянов, студ.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА**

Цель исследования — моделирование и анализ динамического поведения элементов конструкций с гистерезисом (РМА).

Задачи исследования:

- математическая постановка задачи (описание зависимости силы сопротивления в РМА от относительных скорости и перемещения, описание входных и выходных параметров, вывод уравнения движения системы с одной степенью свободы, подсоединенной к основной системе через РМА);
- подготовка алгоритма и программного кода для решения дифференциального уравнения движения для системы с одной степенью свободы: тело, соединенное с основанием посредством РМА, находится под кинематическим воздействием, заданным ускорением основания;
- программная реализация (разработка и тестирование программных кодов двух задач);
- анализ динамической реакции системы с одной степенью свободы «сейсмоизолируемая масса + РМА», построение фазового портрета и АЧХ, определение резонансных частот.

Актуальность работы связана с необходимостью исследования РМА с целью дальнейшего проектирования оптимальных виброзащитных систем для защиты объектов авиакосмической, транспортной, строительной отраслей [1, 2].

Новизна проведенных исследований состоит в разработке программного обеспечения для модельно-ориентированного проектирования и математического моделирования динамического поведения систем с гистерезисным поведением. Впервые проведено исследование поведения фазовой траектории и резонансных частот систем с гистерезисным поведением в зависимости от параметров гистерезиса.

Исследование проведено с использованием расчетного комплекса MATLAB, применена среда моделирования Simulink.

### **Литература**

1. **Радин В.П., Позняк Е.В., Новикова О.В., Чирков В.П.** Разработка и исследование модели здания на резинометаллических сейсмоопорах // Вестник МЭИ. 2022. № 2.
2. **Мишенков, Г.В.** Электрические и электронные аппараты. Прикладные задачи виброударозащиты: учебное пособие для вузов / Г.В. Мишенков, Е.В. Позняк, В.Е. Хроматов.— М.: Издательство Юрайт, 2022.

*И.Н. Медведева, студ.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМ С ТРЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ ДАЛЯ**

Цель исследования — моделирование и анализ динамического поведения элементов конструкций с трением по модели Даля [1-2].

Задачи исследования:

- разработка модели нелинейной динамической системы с одной степенью свободы с трением Даля;
- вывод уравнения движения системы с одной степенью свободы, присоединенной к основанию через нелинейный элемент с трением Даля;
- разработка программного кода для решения дифференциального уравнения движения системы с одной степенью свободы с трением по модели Даля;
- анализ динамической реакции системы с одной степенью свободы (построение фазового портрета, АЧХ и определение резонансных частот при различных параметрах модели).

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью изучения возможностей нелинейных систем с гистерезисом для создания эффективных систем виброзащиты [3], проектирования современных магнитореологических демпферов и т.д.

Модель трения Даля применяется при моделировании объектов аэрокосмической, автомобилестроительной отрасли и присутствует во многих зарубежных расчетных программах, иногда с небольшими модификациями. Новизна проведенного исследования заключается в разработке отечественного программного обеспечения для моделирования динамического поведения систем с гистерезисом.

В результате проделанной работы проведено исследование поведения фазовой траектории и анализ резонансных частот систем с трением в зависимости от параметров гистерезиса в программном комплексе Matlab с использованием среды моделирования Simulink.

### **Литература**

1. **Dahl, P.R.** Solid Friction Damping of Mechanical Vibrations. AIAA Journal 14(12), 1675–1682 (1976).
2. **T. Piatkowski** Dahl and LuGre dynamic friction models — The analysis of selected properties // Mechanism and Machine Theory 73 (2014).
3. **Мишенков, Г.В.** Электрические и электронные аппараты. Прикладные задачи виброударозащиты: учебное пособие для вузов / Г.В. Мишенков, Е.В. Позняк, В.Е. Хроматов. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — (Высшее образование).

М.А. Потапов, студ.; рук. А.П. Слива, к.т.н., доц. («НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА СВАРКИ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ

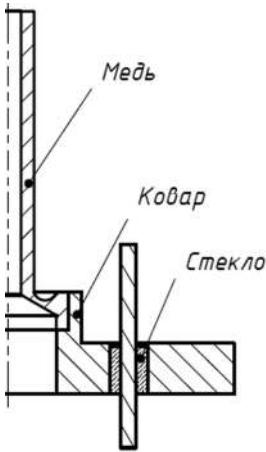


Рис. 1. Схема изделия

соединения обеспечивается за счёт коэффициента перекрытия сварочных точек не менее 0,5.

Микроструктура сварных соединений ковар-медь имеет яркую структурную неоднородность из-за низкой растворимости свариваемых материалов в твердом состоянии, в результате чего, в структуре швов наблюдаются зоны механических смесей, твердого раствора на основе меди и твердого раствора на железо-никеле-кобальтовой основе.

В результате эксперимента было установлено, полученные сварные соединения герметичны и удается сохранить технологическую прочность изделия.

Анализ полученных результатов показал перспективность применения импульсного режима электронно-лучевой сварки для изготовления прецизионных изделий и получения разнородных сварных соединений в микроэлектронике и приборостроении.

В микроэлектронике часто используются детали со стеклянными элементами для герметизации и изоляции электрических проводников (рисунок 1). Из-за значительной разности термических коэффициентов линейного расширения стеклянных и металлических элементов в процессе сварки может произойти разрушение стеклянных элементов и потеря герметичности конструкции.

В данной работе проводится сравнение тепловых режимов электронно-лучевой сварки, выполненной в импульсном и непрерывном режиме, отрабатывается технология сварки НК29 с медью с целью получить герметичное соединение и сохранить технологическую прочность изделия и исследуется микроструктура металла шва. Импульсный метод сварки электронным лучом позволяет уменьшить тепловложение, увеличить теплоотвод и уменьшить риск разрушения стеклянных элементов конструкции. Герметичность

*М.П. Петрова, асп.; рук. А.Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ**

В связи с интенсивным развитием технологий обработки поверхностей материалов и нанесения упрочняющих покрытий возникла необходимость в экспресс-методиках определения их механических характеристик. Для этого применяется метод индентирования, поскольку с его помощью в рамках одного цикла измерений можно определить характеристики твердости и трещиностойкости. Вместе с тем, известные методики оценки трещиностойкости индентированием можно применять далеко не на всех материалах и покрытиях — большинство из этих методик носят частный характер и разработаны исходя из формирования определённого типа трещин при вдавливании индентора.

В настоящей работе предлагается новая методика оценки характеристик трещиностойкости материалов и покрытий методом инструментального индентирования, основанная на непрерывном вдавливании индентора с регистрацией диаграммы деформирования. По характерным участкам диаграммы определяются значения удельной работы зарождения и распространения трещины, которые являются физически обоснованными характеристиками сопротивления материала образованию трещин [1].

Личный вклад автора состоит в отборе материалов для проведения экспериментального исследования, проведении самого исследования, анализе полученных результатов и верификации предложенной методики с использованием методики Эванса.

Предлагаемая методика может быть использована на материалах и покрытиях, на которых при индентировании образуются любые типы трещин, включая хрупкое скалывание по границам контакта материала с индентором. Методика актуальна для исследования свойств керамик, стёкол различного состава и назначения, упрочняющих покрытий и других материалов с малым запасом пластичности. В рамках работы произведено опытное опробование разработанной методики на нескольких материалах.

### **Литература**

1. **Матюнин В.М., Марченков А.Ю., Стасенко Н.А.** Удельная энергия упругопластической деформации, необходимая для образования трещины при индентировании упрочняющих покрытий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Том 83. № 11.

Д.С. Дикарев, студ.;  
рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Программный комплекс направлен на реализацию математической модели конечного деформирования трехмерных тел [1]. В ней деформации могут определяться линейными тензорами градиентов перемещений при любых величинах последних. Это актуальное и важное положение, ибо оперирование линейными тензорами несравнимо проще, чем нелинейными.

Областью определения уравнений равновесия и совместности деформаций, а также граничных условий, служит заданное конечное состояние находящегося в равновесии тела. Иначе невозможно указать положения сил, распределенных в объеме и на поверхности этого тела.

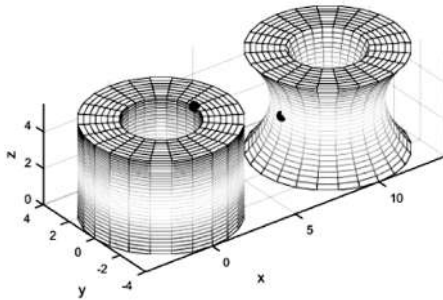


Рис. 1. Конечное (слева) и начальное (справа) состояния толстостенного цилиндра

Программный комплекс строит начальное и все искомые промежуточные состояния тела из нагруженного конечного его состояния. Рассчитываются поля напряжений и деформаций, а также перемещения. Строятся 3D-модели упругого тела в начальном, любых промежуточных и конечном состояниях. Иллюстрируется картина распределения напряжений и деформаций по поверхностям упругого тела и в его произвольных сечениях. Существует возможность построения в декартовых координатах XYZ геометрической модели деформируемого твердого тела в начальном и конечном состояниях с определением опасной точки (рисунок).

Полученные результаты имеют высокую точность, так как при использовании данного подхода проблема геометрической нелинейности решается аналитически, в трехмерной постановке.

### Литература

1. Дуйшеналиев Т.Б., Меркурьев И.В., Дуйшембиев А.С. Математическая модель для оценки конечных деформаций резиноподобных материалов // Математическое моделирование и численные методы. 2020. № 2(26).



А.А. Панькина, студ.;  
рук. А.Ю. Марченков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА ВБЛИЗИ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Современный уровень развития механики разрушения позволяет в той или иной мере учитывать различные факторы при оценке распространения трещины в конструкционных материалах [1]. Одним из важных факторов является и масштабный эффект, заключающийся в изменении характера деформации и разрушения конструкции при изменении её размеров.

В настоящей работе исследовано влияние толщины образца на характер напряжённо-деформированного состояния (НДС) металла вблизи концентратора напряжения при его деформировании. Проведены исследования по статическому растяжению образцов различной толщины с боковым надрезом. В процессе испытания фиксировали деформации с использованием метода корреляции цифровых изображений. Предложен новый оригинальный алгоритм анализа кинетики распространения трещины в образце по фотоизображениям и полям деформаций. Показано, что при увеличении толщины в образце формируется более сложное НДС, характеризующееся большей интенсивностью напряжений (рис. 1).

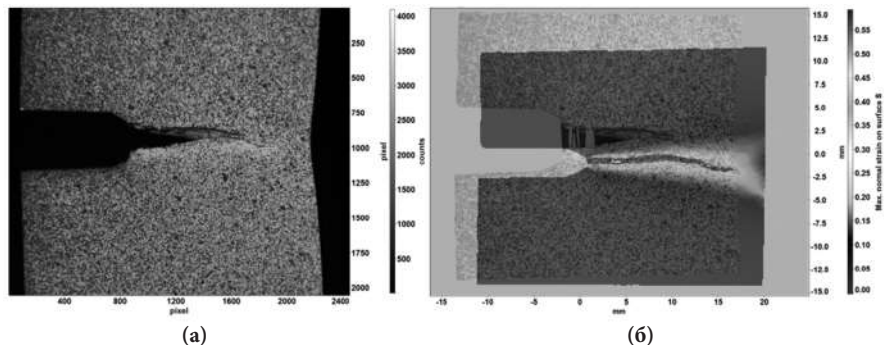


Рис. 1. Фото образца (а) и распределение деформаций (б) при испытании растяжением

Личный вклад автора заключается в обосновании выбора материала для исследований, участии в подготовке образцов, в экспериментах, а также в анализе механических характеристик и материалов эксперимента.

Полученные результаты носят научно-прикладной характер и будут использованы при разработке аналитических моделей оценки поврежденности материалов, инвариантных к масштабному фактору.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-79-00232, <https://rscf.ru/project/21-79-00232/>.

### Литература

1. Матвиенко Ю.Г. Основы физики и механики разрушения. М.: Физматлит, 2022.

*Г.Д. Евреинова, асп.;*  
*рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА НДС В СТЕРЖНЕ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ**

Экспериментальное изучение волновых процессов, возникающих в композитных материалах при ударном воздействии — процедура, требующая много временных и денежных затрат. При отсутствии возможности применения экспериментального подхода к изучению поведения конструкций из композитных материалов надежной альтернативой является применение CAE-программ, достаточно точно моделирующих такие процессы.

В работе предложена методика исследования напряженно-деформированного состояния в программном комплексе MSC Patran/Marc. В расчете рассматривается контактная задача удара упругого стального индентора о поверхность стеклотекстолитного материала. Проведенный расчет позволяет оценить повреждения, обусловленные контактным взаимодействием, а также выявить появление расслоений внутри объема, порождаемых волновыми процессами. Эти явления необходимо учитывать в конструкциях из композитов в областях, где может происходить похожее ударное взаимодействие.

Для оценки напряженно-деформированного состояния был проведен конечно-элементный расчет стержня из стеклотекстолита на действие низкоскоростного удара. Ортотропные свойства материала учтены в модели заданием 9 упругих компонентов. Ударное воздействие смоделировано приложенной к индентору скоростью, соответствующей скорости в момент удара.

Анализ результатов показал, что напряжения распределяются волнообразно не только на внешнем слое, но и на протяжении всего объема. Модель достаточно точно описывает волновые процессы в рассматриваемом композите. Результаты позволяют спрогнозировать поведение модели из стеклотекстолита под действием ударных нагрузок.

### **Литература**

1. **Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др.** Композиционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
2. **Евреинова Г.Д., Гольцев А.А., Макаров М.С., Щугорев В.Н.** Влияние динамического нагружения композитного стержня на появление вторичных межслойных трещин // Тез. Докл. XXVII Междунар. НТК студентов и аспирантов «Радиотехника, электротехника и энергетика». — М.: ООО «ЦПУ «Радуга», 2022.

Д.С. Дикарев, студ.;  
 рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ МКЭ

Разработанный программный комплекс (ПК) «МКЭ» на языке программирования Octave предназначен студентам направления подготовки «Прикладная механика» при изучении дисциплин «Строительная механика», «Вычислительная механика», «Динамика машин». Эффективность освоения студентами сложных разделов механики достигается за счет демонстрации универсального алгоритма с открытым кодом, отражающий особенности применения МКЭ для статических и динамических расчетов, а также расчетов на устойчивость (рисунок).

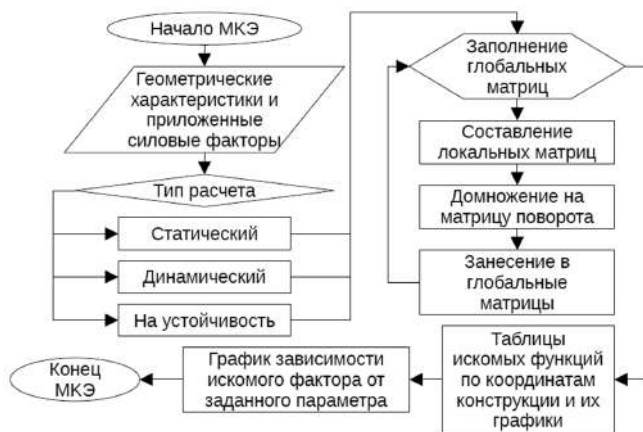


Рис. 1. Блок-схема программного комплекса

В возможности ПК входят:

- построение эпюр прогибов, углов поворота, поперечной силы и изгибающего момента;
- определение устойчивости конструкций;
- исследование параметрического изменения частот собственных колебаний;
- получение аналитического решения [1].

ПК поможет систематизировать материал, выходящий за рамки одной дисциплины, освоить основы программирования на Octave, а также создать генератор задач для формирования дистанционных обучающих курсов.

### Литература

1. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.

Д.С. Дикарев, студ.;  
рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Разработанный программный комплекс (ПК) «УТС» предназначен для решения различных задач, возникающих при изучении дисциплины «Управление техническими системами», а также систематизации знаний студентов. ПК позволяет рассчитывать управляемость и наблюдаемость динамической системы. Её модель представляет собой  $n$ -ое количество сосредоточенных центров масс, приложенных к ним пружин и демпферов. Решение ищется посредством введения обобщенных координат, получения уравнений движения и их преобразования в передаточные функции [1].

В возможности ПК входит:

- Параметрическое исследование изменения собственных частот и амплитуд колебаний.
- Параметрическое исследование устойчивости динамической системы.
- Построение диаграммы Бode и амплитудно-фазовой характеристики (АФХ).
- Построение диаграммы нулей-полюсов.
- Построение переходной и импульсно-переходной характеристик.

Данный ПК полезен для студентов, изучающих динамические системы управления тем, что представляет собой алгоритм, применимый для разных типов расчетов (рисунок). Данные расчетов сопоставлены с [2].

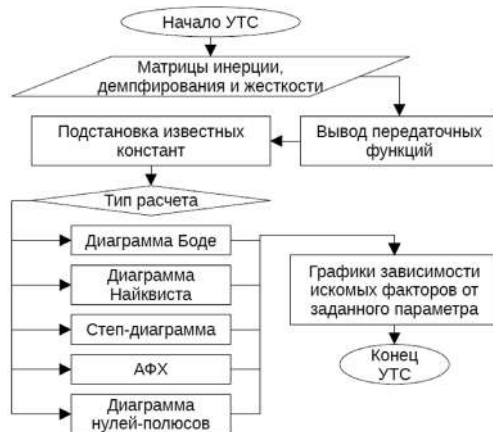


Рис. 1. Блок-схема программного комплекса

### Литература

1. **Воронов А.А.** Устойчивость управляемость наблюдаемость. М.: Издательство «Наука», 1979.
2. **Шалыпин В.В.** Управление в технических системах. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011.

*А.М. Бхалла, асп.; рук. Е.В. Позняк к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Настоящее исследование посвящено оценке применимости эволюционных алгоритмов для подбора оптимальных параметров резинометаллических опор пространственных строительных конструкций для защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий.

Цикл работы резинометаллической опоры описывается идеализированной билинейной диаграммой перемещений с четырьмя параметрами: жёсткости опор в упругой и пластической стадии нагружения, предельные упругие и пластические перемещения [1, 2]. Для нерегулярных несимметричных конструкций каждая опора может иметь свои параметры, поэтому в общем случае для конструкции с  $n$  опорами имеем  $4n$  параметров оптимизации. На работу каждой опоры накладываются ограничения по перемещениям и по продольным усилиям. Минимизируемая целевая функция соответствует усилиям в основании конструкции от заданного сейсмического воздействия.

Таким образом, для проектирования оптимальной системы сейсмозащиты необходимо решить задачу многомерной условной глобальной оптимизации. Классические поисковые методы, эффективные при поиске локальных оптимумов, для решения таких задач не подходят. В некоторых случаях хороших результатов достигают, применяя эволюционные методы (направление искусственного интеллекта, использующее и моделирующее базовые положения в теории биологической эволюции) [3], например, «роевые».

В настоящем исследовании впервые на примере протяженной мостовой конструкции на резинометаллических опорах проверяется эффективность метода муравьиной колонии (ant colony optimization, АСО — алгоритм, обусловленный феромонным поведением муравьев).

### **Литература**

1. **Радин В.П., Позняк Е.В., Новикова О.В., Чирков В.П.** Разработка и исследование модели здания на резинометаллических сейсмоопорах // Вестник МЭИ. 2022.
2. **Мишенков, Г.В.** Электрические и электронные аппараты. Прикладные задачи виброударозащиты: учебное пособие для вузов / Г.В. Мишенков, Е.В. Позняк, В.Е. Хроматов. — Москва: Издательство Юрайт, 2022.
3. **Карпенко, А.П.** Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А.П. Карпенко — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017.

*И.Р.Исмагилов, студ.;*  
*рук. Т.Б.Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ ОГИБАЮЩИХ ЛИНИЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ КРУГОВ НАПРЯЖЕНИЙ ХРУПКИХ И ПОЛУХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Вывод уравнения огибающей линии предельных кругов напряжений является актуальной задачей для механики разрушения хрупких материалов. Такое уравнение получено в работе [1].

Предлагаемые методики определения разрушающих напряженных состояний хрупких и полухрупких материалов могут быть использованы при паспортизации горных пород и прогнозировании их прочности на различных глубинах земной коры. На основе разработанных компьютерных программ в системах MathCad и MatLab рассмотрены различные способы построения огибающих линий по следующим их представлениям:

1. По величинам главных напряжений двух испытаний на трехосное сжатие. На рис. 1 приведены предельные опытные круги напряжений в координатах  $\sigma$ ,  $\tau$  (опыты Кармана) [2] и огибающая линия к ним, построенная по двум опытным кругам (выбраны второй и шестой круги, материал — каррарский мрамор).
2. Через предел прочности материала на осевое сжатие и величины главных напряжений одного разрушающего трехосного напряженного состояния.
3. По величинам пределов прочности на осевое сжатие и осевое растяжение. На рис. 2 приведены предельные опытные круги напряжений в координатах  $\sigma$ ,  $\tau$  и огибающая линия к ним, построенная по величинам пределов прочности на осевое сжатие и осевое растяжение (материал — каррарский мрамор [2]).

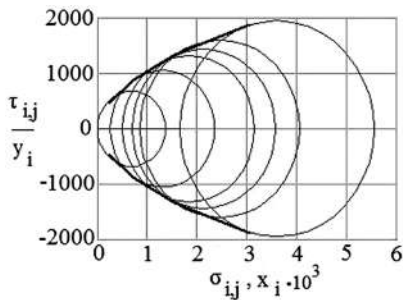


Рис. 1. Огибающая линия к опытным предельным кругам напряжений по первому представлению

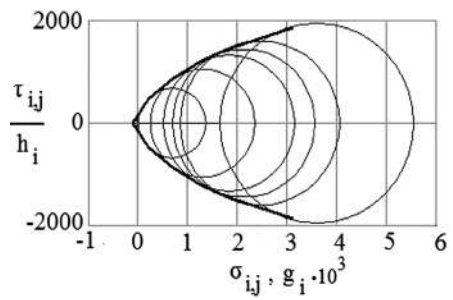


Рис. 2. Огибающая линия к опытным предельным кругам напряжений по третьему представлению

Показано, что огибающая линия для любого материала не зависит от этих представлений.

### Литература

1. Дуйшеналиев Т.Б. Неклассические решения механики деформируемого тела. М.: Издательство МЭИ, 2017.
2. Карман Т. Опыты на всестороннее сжатие // Новые идеи в технике. 1915. № 1.

*Р.Е. Ушаков, М.Е. Глухих, Н.А. Ярошенко, студенты;  
рук. А.А. Мочалов, ст. преп. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

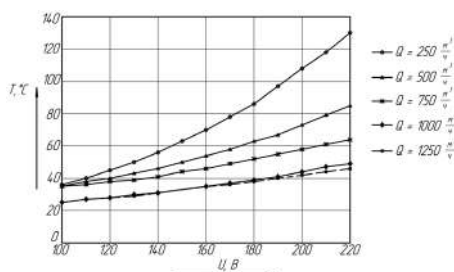
## **ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛОРАЗМЕРНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ НАГРЕТЫМ ПОТОКОМ**

На сегодняшний день актуальной является проблема использования низкопотенциального тепла, образующегося после прохождения основных узлов тепловых электростанций. Условия, реализующиеся в данных газовых потоках, пригодны для эксплуатации газодинамических устройств, выполненных из пластика при помощи аддитивных технологий.

Цель данной работы — получение зависимости температуры потока от напряжения, подводимого на нагреватели, при различных режимах работы установки, спроектированной для оценки поведения геометрии спрямляющих решеток, изготовленных методами аддитивных технологий из наиболее распространенных полимеров. За основу была взята конструкция установки и методика проведения эксперимента, изложенная в [1], после добавления в ее конструкцию дополнительного нагревателя.

В результате были получены зависимости температур от напряжения на нагревательных элементах при различных объемных расходах воздуха в канале, представленные на рисунке 1.

Благодаря полученным данным появляется возможность упрощенной эксплуатации экспериментальной установки, заключающейся в более точном задании параметров регулирующих элементов стенда.



**Рис. 1.** Характеристика малоразмерной аэродинамической трубы

### **Литература**

1. **Р.Е. Ушаков, Д.В. Беспалов.** Малоразмерная аэродинамическая труба для исследования обтекания тел нагретым потоком Четырнадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России». — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021.

*Р.Е. Ушаков, К.И. Фомин, Е.А. Лиджиев, студенты;  
рук. А.А. Мочалов, ст. преп. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОНЕЙКОМБА И ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ**

В энергетическом машиностроении, в частности, в трактах с отработавшим газом, актуально использование низкопотенциального тепла. Для улучшения гидравлических характеристик трактов используют различные газодинамические устройства сложной геометрии, например, хонейкомбы. Удешевление производства изделий, работающих в низкотемпературных газовых каналах, осуществимо за счет применения аддитивных технологий — 3D печати из полимерных материалов.

Известно, что полимерные материалы обладают низкой жаропрочностью и при превышении температурой набегающего потока некоторых значений начинается деформация обтекаемого объекта. При применении хонейкомбов, по мнению коллектива авторов, искажение эквивалентного диаметра ячейки более, чем на 5% приводит к существенному изменению ее воздействия на поток.

Проведение экспериментальных исследований по обтеканию спрямляющей решетки нагретым потоком осуществлялось на опытных образцах из полилактида (PLA), изготовленных методами аддитивных технологий. Подробно конструкция установки и методика проведения эксперимента изложены в [1].

В ходе исследований изменения геометрии ячеек хонейкомба было обнаружено, что очагами первичных температурных деформаций являются ячейки, расположенные по внешнему ее контуру, в то время как центральные ячейки остаются практически недеформированными и оказывают на поток прежнее влияние.

Действительно, проводя осреднение массива значений деформаций каждой ячейки было получено, что хоть некоторые отдельные ячейки и начинают оказывать неудовлетворительное влияние на набегающий поток при его температуре 75°C, в целом решетка теряет свои проектные характеристики при температуре 130°C, что позволяет ее использование в более широком диапазоне температур.

### **Литература**

1. **Р.Е. Ушаков, К.И. Фомин, Д.А. Гасников.** Экспериментальное исследование газодинамических характеристик спрямляющей решетки, изготовленной с помощью аддитивных технологий, при ее обтекании нагретым потоком // Пятнадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России». — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022 (в печати).



**Секция 51**  
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ**  
**И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ**  
**Robotic and mechatronic systems**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., профессор Меркурьев Игорь Владимирович*

*Секретарь секции: к.ф.-м.н., доцент Капустина Ольга Михайловн*

Г.Р. Сайпулаев, асп.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

## УПРАВЛЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИМ РОБОТОМ С ВНУТРЕННЕЙ ОМНИ-ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ НЕГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ

Разработка систем управления сферороботами актуальна в связи с их применением в задачах мониторинга и охраны территорий. В имеющихся публикациях авторы в основном описывают программное управление или управление с обратной связью по угловым скоростям колес омни-платформ. В данной работе предлагается управление с обратной связью по скорости точки  $C$ , центра масс платформы и сферической оболочки, и угловой скорости сферической оболочки.

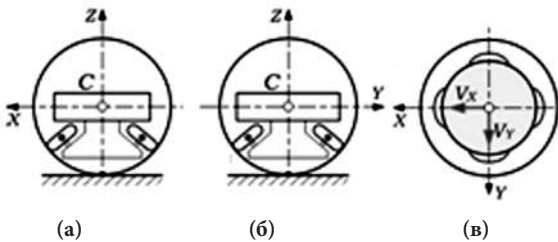


Рис. 1. Сфероробот с внутренней платформой:  
(а) вид сбоку; (б) вид спереди; (в) вид сверху

Рассматривается сфероробот с внутренней платформой, оснащенной четырьмя омни-колесами (рис. 1). Для описания движения используется подвижная система координат  $CXYZ$ ,  $CX$ ,  $CY$  — продольная и поперечная оси платформы,  $CZ$  — вертикальная ось.

Задачей исследования является построение управления движением сфероробота на основе неголономной модели динамики с применением метода скоростного градиента в виде обратной связи по скоростям сфероробота.

Цель управления описывается предельным равенством  $\lim_{t \rightarrow \infty} V = 0$ ,

$$V = \frac{1}{2} \left[ (V_x^d - V_x)^2 + (V_y^d - V_y)^2 + (\omega_z^d - \omega_z)^2 \right]$$

$V_x$ ,  $V_y$  — проекции скорости точки  $C$  на оси  $CX$  и  $CY$ ;  $\omega_z$  — проекция угловой скорости сферической оболочки на ось  $CZ$ , верхний индекс « $d$ » указывает на программные значения скоростей.

Согласно методу скоростного градиента управляющий момент, создаваемый приводом  $i$ -го омни-колеса, рассчитывается по формуле:

$$M_i = -\eta \frac{\partial}{\partial M_i} \left( \frac{dV}{dt} \right), i = 1, \dots, 4,$$

$\eta$  — коэффициент усиления в цепи обратной связи, производная по времени вычисляется в силу неголономной модели динамики сфероробота.

По результатам моделирования базовых движений сфероробота подтверждена работоспособность полученного управления.

*М.М. Мусиенко, Д.А. Грачёв, студенты;  
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ДВУНОГОГО АНТРОПОМОРФНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА**

Актуальность исследования связана с увеличением области применения робототехнических комплексов различного назначения. Разработка и внедрение промышленных робототехнических комплексов позволяет повысить уровень автоматизации производственных операций и переложить рутинные или прецизионные действия на машину, выполняющую заданную технологическую программу. Действия в труднодоступных и опасных местах при ликвидации чрезвычайных ситуаций, разминировании и транспортировке грузов могут быть выполнены антропоморфным роботом, управляемым автоматической программой или оператором в дистанционном режиме.

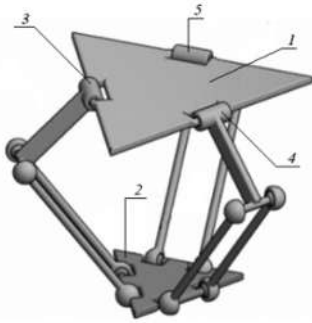
В целях создания макетного образца шагающего робота разработана 3D модель конструкции шагающего аппарата в виде двуногого семизвенного механизма. В шарнирах шагающего механизма установлены электрические сервоприводы, обеспечивающие требуемые законы движения звеньев аппарата.

При составлении уравнений движения шагающего аппарата были применены общие теоремы динамики. В докладе представлены дифференциальные уравнения, описывающие движения электромеханической семизвенной конструкции в сагитальной плоскости в циклическом одноопорном режиме движения. Параметры математической модели шагающего аппарата, требуемые силовые характеристики привода были рассчитаны по результатам математического моделирования ряда тестовых движений аппарата. Проведен расчет программных траекторий и управляющих воздействий при выполнении заданных упражнений таких как, подъем и перемещение с заданной скоростью груза, закрепленном на корпусе шагающего аппарата.

С помощью разработанного программного обеспечения на языке C++ были выполнены аналитические и численные расчёты управляющих воздействий и переходных процессов при различных режимах работы шагающего робота. В докладе обсуждаются результаты экспериментальных тестовых автоматических движений макетного образца шагающего робота под управлением микроконтроллера Arduino.

*М.А. Терехова, студ.;  
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПЛАТФОРМЫ ДЕЛЬТА-РОБОТА



**Рис. 1.** Типовая конструкция дельта-робота

Работа посвящена исследованию кинематики и динамики дельта-робота с тремя степенями свободы. Такие роботы, благодаря замкнутой кинематической цепи, обладают повышенной жесткостью конструкции, уменьшенной нагрузкой на приводы, обеспечивают высокую скорость и точность позиционирования [1].

Рассматривается дельта-робот (рис. 1), состоящий [2] из неподвижного массивного основания 1 и подвижной платформы 2. К основанию с помощью цилиндрических шарниров 3, 4, 5 крепятся верхние плечи трёх рычагов, плоскости вращения которых повернуты на  $120^\circ$  друг относительно друга. Нижнее плечо каждого рычага образовано двумя параллельными

стержнями. Эти стержни связаны с верхними плечами рычагов и подвижной платформой посредством сферических шарниров. Управление движением осуществляется с помощью моментов двигателей, приложенных к рычагам.

Выполнен кинематический и динамический анализ математической модели дельта-робота с тремя степенями свободы. Построены уравнения, описывающие кинематику робота, найдена рабочая область. Приведены примеры численного решения прямой и обратной задачи кинематики. В предположении о невесомости приводящих звеньев получены уравнения управляемого движения подвижной платформы. На основе полученных уравнений определены законы изменения управляющих параметров, обеспечивающие заданные программные движения подвижной платформы.

### Литература

1. Глазунов В.А., Попов А.М., Чунихин А.Ю., Антонов А.В., Орлов И.А. Механизмы параллельной структуры с пятью степенями свободы // Proceedings of the Second International Symposium of Mechanism and Machine Science (ISMMS-2017), 2017, С. 111–115.
2. Закиров Р.И., Алиев М.И., Морозов А.И. Определение кинематических характеристик дельта-робота по заданным параметрам рабочей области. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. № 4, т. 14, 2018, С. 11–16.

А.О. Зыза, студ.;  
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА С КРИВОШИПНО-ШАТУННЫМ ПРИВОДОМ

Работа посвящена анализу движения платформы Стюарта, состоящей из подвижной платформы, соединённой с неподвижным основанием тремя кривошипно-шатунными опорами [1]. Актуальность задачи моделирования управляемого движения таких манипуляторов связана с широким использованием их в различных областях [2].

Расчётная схема механизма представлена на рис.1. Подвижная платформа ABC и неподвижное основание GKL представляют собой правильные треугольники. Кривошипы DG, FL, EK соединены с неподвижным основанием и шатунами AD, BE, CF цилиндрическими шарнирами. Шатуны связаны с подвижной платформой сферическими шарнирами в точках A, B, C. Все элементы механизма абсолютно жёсткие, шатуны и кривошипы — невесомы. Наличие цилиндрических шарниров приводит к тому, что три плоскости ADG, CFL, BEK перпендикулярны неподвижному основанию.

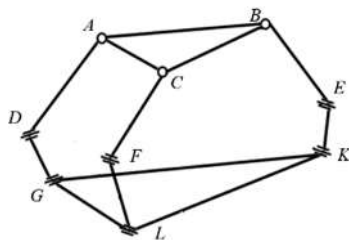


Рис. 1. Кинематическая схема платформы

Математические ограничения на положение кривошипно-шатунных приводов формулируются в виде трёх уравнений связи между параметрами, задающими положение подвижной платформы: координатами её геометрического центра и углами крена, тангажа и рысканья. Полученные в работе уравнения связи демонстрируют, что рассматриваемая система имеет три степени свободы, а в качестве обобщённых координат могут быть выбраны углы тангажа, крена и координата геометрического центра подвижной платформы по оси, перпендикулярной неподвижной платформе.

Основные авторские результаты: выведены кинематические уравнения связи, обоснован выбор обобщённых координат платформы и определён их диапазон. Получены уравнения, связывающие скорости поворота шатунов с обобщёнными скоростями платформы. В предположении о безынерционности приводящих звеньев построены уравнения динамики.

### Литература

1. Зуев С.М. Стабилизация положений равновесия нагруженных модификаций платформы Стюарта: дис. канд. — СПб.: СПбГУ, 2014.
2. Гапоненко Е.В. Динамика управляемого движения робота-трипода с шестью степенями подвижности: дис. канд. — Б.: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014.

*В.М. Власов, студ.;  
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ШЕСТИКОЛЁСНОЙ МЕКАНУМ-ПЛАТФОРМЫ

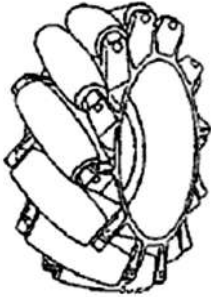


Рис. 1. Роликонесущее колесо (меканум)

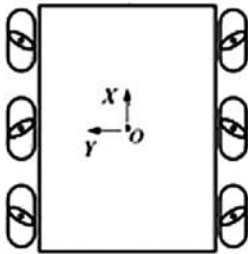


Рис. 2. Кинематическая схема шестиколёсной меканум-платформы

Работа посвящена исследованию движения платформы с шестью роликонесущими колёсами. На их периферии расположены пассивные ролики, оси которых составляют угол  $45^\circ$  с осями вращения колёс (рис. 1). Мобильные роботы на меканум-платформах благодаря возможности всенаправленного движения обладают лучшей маневренностью по сравнению с роботами на обычных колесах, что позволяет использовать их в ограниченном пространстве.

Рассматривается случай симметричного расположения колёс по двум сторонам корпуса прямоугольной формы (рис. 2). Проведён анализ кинематики и динамики шестиколёсной меканум-платформы. Получены уравнения, связывающие обобщённые скорости платформы с угловыми скоростями роликковых колёс.

Решены задачи кинематики для простейших движений платформы: поступательного движения вперёд, влево и вдоль биссектрисы первого координатного угла подвижной системы координат  $OXY$ , связанной с платформой (рис. 2), рассмотрено вращательное движение вокруг геометрического центра платформы, точки  $O$ .

Построены уравнения динамики в форме уравнений Лагранжа для поступательного движения платформы [1] и в форме уравнений Аппеля при произвольном её движении [2].

Получено решение прямой задачи динамики для случая, когда траектория движения геометрического центра платформы представляет собой окружность, а вектор скорости центра направлен по оси  $OX$  симметрии платформы. Моменты двигателей, обеспечивающее заданное движение и удовлетворяющие требованию минимума суммы квадратов моментов, определены с помощью метода множителей Лагранжа.

### Литература

1. Зацепин М.Ф., Мартыненко Ю.Г., Тиньков Д.В. Уравнение Лагранжа, Воронца, Чаплыгина в задачах динамики мобильных роботов: методическое пособие. — М.: Изд-во МЭИ Москва, 2005.
2. Адамов Б.И., Капустина О.М., Меркурьев И.В., Панкратьева Г.В. Кинематика, динамика и управление движением мобильного робота-манипулятора *youbot*. — М.: Изд-во МЭИ Москва, 2018. — 72 с.

*И.Г. Ниналалов, асп.;*  
*рук-ли И.В. Меркурьев, д.т.н., профессор,*  
*С.В. Астахов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ МАЛОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА НА ДИНАМИКУ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С КОЛЬЦЕВЫМ РЕЗОНАТОРОМ В РЕЖИМЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Создание прецизионных микромеханических инерциальных навигационных систем является актуальной задачей для автоматического управления движением транспортных, робототехнических и авиационно-космических систем. Особенности микромеханических инерциальных навигационных систем является малый объем, масса и энергопотребление при достаточно высоком уровне систематических и случайных погрешностей в измерительном контуре системы.

В докладе рассматривается микромеханический гироскоп с резонатором в виде тонкого упругого кольца, поддерживаемого упругими торсионами. По измерению малых колебаний кольцевого резонатора определяется угол и угловая скорость поворота основания гироскопа в инерциальном пространстве. Принципиальной погрешностью данного микромеханического гироскопа класса обобщенного маятника Фуко является нелинейность колебательного контура.

В докладе рассмотрено влияние малого нелинейного демпфирования колебательного контура на динамику и точность гироскопа. Была получена математическая модель вынужденных изгибных колебаний тонкого упругого кольцевого резонатора по второй основной форме колебаний. С помощью метода усреднения Крылова — Боголюбова был проведен анализ влияния малого нелинейного демпфирования на медленно изменяющиеся переменные, характеризующее изменение орбиты колебаний кольцевого резонатора гироскопа.

Полученная новая математическая модель колебаний резонатора использована для оценки точности микромеханического гироскопа. Проведенный числовой пример показал существенное влияние на точность гироскопа нелинейных вязкоупругих свойств материала резонатора. Предложены новые методы повышения точности микромеханических гироскопов, опробованные по результатам стендовых испытаний гироскопов. Применение предложенных методов позволит повысить точность решения задач навигации и управления движением транспортных, авиационных и космических систем.

А.Ю. Носенко, студ.; рук. О.М. Капустина к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ



Рис. 1. Космический манипулятор Канадарм2 (SSRMS)

Представлены результаты численно-аналитических экспериментов управления космическим манипулятором Канадарм 2 (рис. 1) с помощью адаптивного алгоритма [1]. Преимущества такого алгоритма заключаются в отсутствии необходимости построения математической модели динамики манипулятора.

В работе рассматривается задача обеспечения достаточно высокого значения манипулятивности, поддерживающего большое «расстояние» до сингулярной конфигурации. Такое дополнительное

к основной задаче реализации программного движения условие [2] может быть реализовано вследствие кинематической избыточности семи-степенного манипулятора Канадарм2.

Компьютерное моделирование выполнено в среде Wolfram Mathematica. Подтверждение эффективности алгоритма управления с дополнительным кинематическим условием проведено на основе численного интегрирования уравнений динамики манипулятора.

### Литература

1. **Jianfei Li, Yaobing Wang, Zhiyong Liu, Xin Jing, Chengwei Hu** «A New Recursive Composite Adaptive Controller for Robot Manipulators», Space: Science & Technology, vol. 2021, ArticleID 9801421, 7 pages, 2021. <https://doi.org/10.34133/2021/9801421>
2. **Seraji H.** Configuration control of redundant manipulators: theory and implementation // IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 5, no. 4, pp. 472–490, Aug. 1989.



*В. Дони, В.В. Замашкин, студенты, Д. Диб, асп.;  
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНО-ШАГАЮЩИМ АППАРАТОМ**

Актуальность исследования шагающих аппаратов различного назначения связана с необходимостью увеличения производительности труда, безопасности и уровня автоматизации технологических процессов на производстве. Также актуальной является задача поддержки и реабилитации человека, имеющего проблемы в опорно-двигательном или в вестибулярном аппарате.

В целях создания макетного образца колесно-шагающего аппарата разработана 3D модель конструкции двуногого двухколесного механизма, предназначенного для перемещения человека по пересеченной местности, в т.ч. по лестницам. Управление движением осуществляется с помощью электродвигателей, расположенных в шарнирах колесно-шагающего аппарата. Поддержание вертикального неустойчивого положения равновесия системы обеспечивается комплексной обработкой первичной измерительной информации инерциальных датчиков на базе микромеханических гироскопов и акселерометров, а также датчиков оптико-электронной и дальномерной информации.

При составлении уравнений движения колесно-шагающего аппарата были применены общие теоремы динамики и формализм Лагранжа. В докладе представлены нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие движение электромеханической многозвенной конструкции на плоскости и в пространстве. Проведен расчет программных траекторий и управляющих сигналов при выполнении ряда упражнений таких как, подъем из заданного начального положения в вертикальное неустойчивое положение.

С помощью разработанного программного обеспечения на языке C++ были выполнены аналитические и численные расчеты управляющих воздействий и переходных процессов, позволяющие оптимизировать энергозатраты на управление движением. В докладе обсуждаются результаты экспериментальных тестовых движений макетного образца колесно-шагающего робота.

*А.Н. Косоголов, В.К. Шестаков, студенты;  
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОПИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КИСТИ РУКИ ЧЕЛОВЕКА**

При выполнении ряда прецизионных операций медицинским либо технологическим промышленным оборудованием требуется обеспечивать высокую точность позиционирования инструмента, тщательно согласовывая его движение с визуальной информацией, в т.ч. виртуальной. Прецизионные технологические операции можно осуществить путём копирования и масштабирования движения пальцев рук, при этом необходимо исключить влияние тремора рук человека.

В докладе обсуждаются конкурсные варианты аппаратно-программного комплекса для считывания и передачи сигналов о движении человеческой руки. Разработана 3D модель робототехнической перчатки, включающей в себя сенсорную и силовую приводную части. Рассматриваются технические способы измерения движения многосуставной кисти человека и передачи информации о движении в реальном масштабе времени. В качестве сенсоров и приводов использованы тензодатчики и технические устройства на скручивающихся нитях.

Рассматривается выбор обобщённых координат системы и математических моделей сенсоров и приводов. При составлении уравнений движения механической части комплекса применён формализм Лагранжа. Полученные математические модели аппаратной части комплекса использованы для построения макетного образца робототехнической перчатки. Проведён расчёт программных траекторий и управляющих сигналов при выполнении ряда упражнений, таких как сгибание и разгибание пальцев робототехнической перчатки.

С помощью разработанного программного обеспечения на языке C++ были выполнены численные расчёты кинематических и динамических уравнений движения комплекса. В докладе описываются результаты экспериментальных тестовых движений макетного образца аппаратно-программного комплекса.

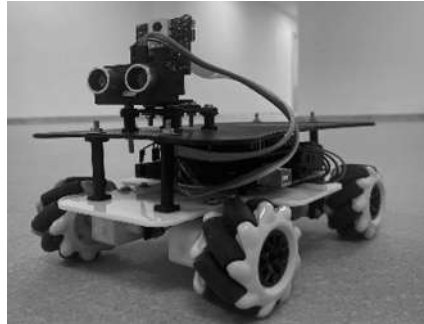
*М.Ж. Фернанду, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО МЕКАНУМ-РОБОТА СО ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМОЙ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТА**

Рассматривается мобильный робот всенаправленного движения с двумя парами механум-колес (рис. 1). Комбинация из четырех механум-колес обеспечивает перемещение робота во всех направлениях без необходимости использования обычной системы рулевого управления [1].

Целью данной работы является разработка и создание функционирующего мобильного механум-робота со встроенной системой цветового зрения для преследования объекта, положения которого определяются камерой Pixy CMUCam5 в двухмерном виде [2, 3] и ультразвуковым датчиком. Полученная информация о положениях объекта отправляется на плату микроконтроллера Arduino Mega для обработки и используется при определении направления движения робота.

Согласно кинематической схеме платформы выведены уравнения прямой и обратной задачи кинематики. С помощью этих уравнений проведен анализ простейших движений робота при преследовании объекта. Моделирование процессов стабилизации программного движения робота выполнено в математическом пакете MATLAB.



**Рис. 1.** Макет робота

### **Литература**

1. **В.Е. Пон.** Wheels for a course stable selfpropelling vehicle movable in any desired direction on the ground or some other base, April 8 1975. US Patent 3,876,255. URL: <http://www.google.com/patents/US3876255>
2. **К. Anindyaguna, N. C. Basjaruddin, and D. Saefudin,** “Overtaking assistant system (OAS) with fuzzy logic method using camera sensor,” 2016 2nd Int. Conf. Ind. Mech. Electr. Chem. Eng. ICIMECE 2016, pp. 89–94, 2017, doi: 10.1109/ICIMECE.2016.7910420.
3. **M. F. Ahmad, H. J. Rong, S. S. N. Alhady, W. Rahiman, and W. A. F. W. Othman,** “Colour tracking technique by using pixy CMUcam5 for wheelchair luggage follower,” Proc. — 7th IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng. ICCSCE 2017, vol. 2017-November, no. November, pp. 186–191, 2018, doi: 10.1109/ICCSCE.2017.828440.

**Направление XI**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**  
**Electrical power engineering**

---

**Руководитель направления:**  
Директор института электроэнергетики  
НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент  
Тульский Владимир Николаевич

**Секция 52**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**  
**Electric power engineering systems**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Олег Николаевич*

*Секретарь секции: Анисимова Ирина Сергеевна*

А.Д. Стулов, асп.;

рук. А.В. Котенев, к.т.н., доцент (ФГБОУ ВО «СамГТУ», Самара)

## УПРАВЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОМ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА СТОРОНЕ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Действующее российское законодательство в области электроэнергетики предоставляет возможность крупным потребителям электрической энергии заметно уменьшить расходы на оплату услуг по передаче электрической энергии путем обеспечения установленных договором с сетевой организацией расчетных соотношений потребления активной и реактивной мощности ( $tg\varphi_V$ ). Требуемые значения соотношения потребления активной и реактивной мощности в часы больших и малых суточных нагрузок предлагается обеспечивать путем стабилизации величины  $tg\varphi_V$  на стороне высшего напряжения главной понизительной подстанции промышленного предприятия. Предложена структура системы автоматического управления значением  $tg\varphi_V$  [1] с алгоритмом управления, сформированным в функции мощности потребителей и потерь мощности в питающих трансформаторах (рис. 1). Данная система позволяет привести значение  $tg\varphi_V$  к установленным показателям в условиях переменных больших и малых суточных нагрузок.

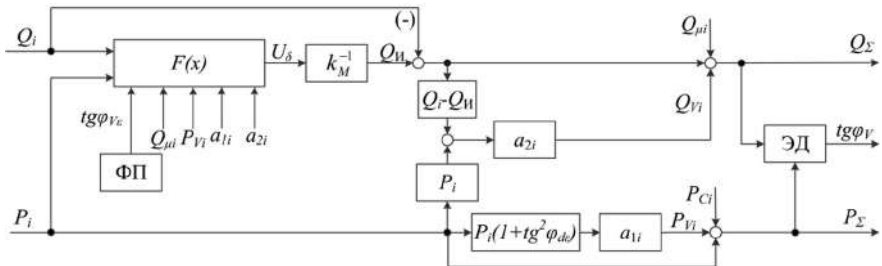


Рис. 1. Структура математической модели САУ КРМ

При проведении вычислительных экспериментов статическая погрешность системы автоматического управления коэффициентом реактивной мощности не превысила одного процента в часы больших и малых суточных нагрузок.

### Литература

1. Котенев В.И., Котенев А.В., Стулов А.Д. Система автоматического управления коэффициентом реактивной мощности системы электроснабжения промышленного предприятия // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». — 2021. — Т. 29. — № 4. — С. 86–98. doi: 10.14498/tech.2021.4.7

Н.А. Каримов, студ.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В настоящее время одним из актуальных вопросов энергетики является интеграция объектов малой генерации в Единую энергетическую систему. Одним из решений вопроса энергообеспечения удаленных районов является использование энергии солнца с помощью фотоэлектрических преобразователей [1]. В центре внимания экспертов находятся вопросы технического присоединения объектов распределенной генерации, оперативно-диспетчерского управления такими объектами, организации надежного электроснабжения потребителей.

В рамках исследования разработана математическая модель объекта распределенной генерации, работающей параллельно с системой большой мощности. Объектом исследования является солнечная электрическая станция (СЭС). Моделирование сети, а также установившихся и переходных процессов проводилось в графической среде программирования *Simulink* на основе пакета прикладных программ *MATLAB*.

При формировании модели особое внимание было уделено проработке составных частей СЭС: фото-панели, силовой электроники, контроллеров, обеспечивающих эффективную и корректную параллельную работу с энергосистемой (устройства поиска точки максимальной мощности, фазовая автоподстройка выходного напряжения и система формирования управляющих сигналов для электронных ключей). Проведен расчет установившихся и переходных режимов работы СЭС в энергосистеме с синхронными машинами. По результатам выполненных исследований сделаны выводы об устойчивости параллельной работы СЭС.

Полученные результаты могут быть применены при проектировании, а также для исследования нормальных и аварийных режимов работы электроэнергетических систем, содержащих объекты малой генерации.

### Литература

1. **В.И. Велькин, Я.М. Щелоков, С.Е. Щеклеин.** Возобновляемая энергетика и энергосбережение: учебник: под общей редакцией В.И. Велькина; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020.

*В.Е. Качесов, А.А. Лебедев, асп.;*  
*рук. В.Е. Качесов, д.т.н., доц. (НГТУ, Новосибирск)*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ФИДЕРА С ЗАМЫКАНИЕМ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Электрические сети (ЭС) среднего напряжения РФ имеют суммарную длину, около миллиона км. В таких сетях с неэффективно заземленной нейтралью длительно допустим режим однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), поскольку потребители не теряют электропитание. Превышение нормативного срока эксплуатации изоляции и оборудования увеличивает частоту возникновения подобных случаев. В случаях неустойчивых (перемежающихся, дуговых) замыканий на землю фазная изоляция неповрежденных фаз испытывает электрическую перегрузку, т.е. подвергается дуговым перенапряжениям, кратностью порядка  $\sim 3,2U_{\text{фм}}$  [1].

Для предотвращения подобных режимов эксплуатации оборудования ЭС, а также снижения деградации изоляции вследствие подобных режимов предлагается новый достоверный способ определения поврежденного фидера, основанный на регистрации переходных напряжений высокочастотными (ВЧ) С-R-L-датчиками, установленными на одноименных фазах в средней части каждого фидера. Способ основан на регистрации ВЧ переходных колебаний, возникающих в датчиках при набегании на них электромагнитных волн с крутым фронтом, формируемых в ЭС во время ОЗЗ. Сигналы с датчиков передаются в пункт обработки измерительной информации, где также распознается режим ОЗЗ. Датчик на фидере с максимальным сигналом сигнализирует о замыкании на землю.

Достоинством способа является надежность выделения фидеров с ОЗЗ, а также простота, поскольку в узлах ветвления воздушных ЛЭП не требуется установка трансформаторов тока нулевой последовательности, как правило, необходимых для поиска поврежденного фидера.

Также работе представлена апробация способа, сделаны выводы по корреляции результатов моделирования и натурного эксперимента.

Полученные результаты могут быть применимы для выделения поврежденного фидера, локации места повреждения, что дает возможность формировать on-line карту аварийности ЭС, которая может эффективно применяться как для управления режимами ЭС, так и для целенаправленной профилактики и ремонта изоляции оборудования.

### **Литература**

1. **Лихачев Ф.А.** Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. — 152 с.



А.А. Ильина, И.И. Бердышев, студенты;  
рук. М.В. Бурмейстер, ассистент (НИУ «МЭИ», г. Москва)

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНЕРЦИИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ СИНХРОНВЕРТЕРА

При внедрении ветровых (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС) в имеющиеся электроэнергетические системы (ЭЭС) наблюдается ухудшение условий устойчивости параллельной работы генераторов, увеличение величины отклонения частоты в ЭЭС. Данные электростанции не могут обеспечить увеличение запаса кинетической энергии в ЭЭС.

С помощью внедрения систем виртуальной инерции (СВИ) возможно частичное решение имеющейся проблемы. СВИ — комплекс устройств и алгоритмов, преобразующих постоянный ток в переменный и имитирующий инерционный отклик синхронных машин на возмущения в ЭЭС [1]. СВИ имеет множество топологий, но наиболее универсальной является «синхронвертер» (*synchronverter*), так как не используется фазовая автоподстройка частоты. Из-за чего отсутствуют шумы в регуляторе, так как не требуется производная по частоте для управления.

Цель работы — разработка имитационной модели СВИ на основе топологии синхронвертера в *Matlab Simulink* для исследования электромеханических и электромагнитных переходных процессов в ЭЭС с СЭС и ВЭС, а также определения условий устойчивости их работы.

В результате выполненной работы была разработана имитационная модель СВИ, построенная на топологии «синхронвертера» [2]. Модель синхронвертера состоит из контура управления по частоте и по току возбуждения. Входными сигналами для СВИ служат желаемые значения (уставки) выходной активной и реактивной мощностей, выходными — управляющие команды для модуля широтно-импульсной модуляции преобразователя частоты (конвертор). В модели также имеется источник постоянного тока, имитирующий работу СЭС и ВЭС 4 типа, конвертор, фильтр гармоник, соединяющие кабели, трансформатор и сеть. Разработанная модель СВИ будет использована в дальнейшем авторским коллективом для изучения электромеханических переходных процессов в ЭЭС с ВЭС и СЭС. На основе модели планируется создание лабораторного образца СВИ.

### Литература

1. Бурмейстер М.В., Булатов Р.В, Блинова К.А. Применение систем виртуальной инерции для улучшения качества переходных процессов в электроэнергетических системах // В сборнике: Фёдоровские чтения 2021, ред. Ю.В. Матюнина.
2. Zhong, Q.C., Weiss, G. Synchronverters: Inverters that Mimic Synchronous Generators. IEEE Transactions on Industrial Electronics / 58. 2011, pp. 1259–1267.

*Е.А. Мохорт, студ.; А.С. Рачев, студ.;  
рук. М.А.Х. Толба, доцент, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР МЕТОДА РАЗМЕЩЕНИЯ СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 110 КВ**

В настоящее время одним из основных вопросов, связанных с повышением качества электрической электроэнергии в сетях, решаемых, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации систем промышленного электроснабжения, является вопрос о компенсации реактивной мощности. Важными и до конца не решенными являются вопросы определения места установки компенсирующих устройств (КУ) и выбора их вида, рациональной и безопасной эксплуатации и защиты. Для минимизации потерь активной мощности в частности используют батареи статических конденсаторов (БСК). Также место установки БСК должно не препятствовать перетоку электроэнергии потребителю.

Конденсаторные батареи устанавливаются на подстанциях в энергосистемах для компенсации реактивной мощности и последующего снижения потерь мощности, коррекции коэффициента мощности, регулирования напряжения на шине и повышения пропускной способности линии передачи. Однако поиск оптимального места для размещения конденсаторных батарей на подстанциях представляет собой сложную задачу комбинаторной оптимизации.

В данной работе продемонстрирован метод оптимизации расстановки и выбора КУ в электрических сетях в программном комплексе MATLAB с применением объектно-ориентировочного программирования, позволяющий снизить потери активной мощности в пиках до 50%. Программа учитывает суточное изменение графика нагрузки и позволяет выбрать максимально оптимальное место установки и количество БСК для достижения оптимального режима электрической сети с минимальными потерями активной мощности в ветвях на протяжении суток.

Результаты данной работы будут полезны как при проектировании новых электросетей, так и в существующих, что позволит увеличить эффективность энергосистемы в целом. Также, данную работу возможно применять, как учебно-лабораторный стенд для демонстрации влияния БСК на качество электроэнергии электрических сетей. На основе разработанной программы возможна реализация и тестирование различных математических моделей оптимального выбора средств компенсации реактивной мощности и определение мест их установки в электрической сети.

### **Литература**

1. **M. Tolba «VLCI approach for optimal capacitors allocation in distribution networks based on hybrid PSO-GA optimization algorithm»**, Neural Computing and Applications 31, 3833–3850 (2019).

*А.А. Курналеева, асп.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ЦЕНЫ НА РСВ ОТ ПОГРЕШНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА**

Для обеспечения непрерывности процесса производства, передачи и потребления электроэнергии в каждый момент времени должен соблюдаться баланс по генерации и потреблению. Величины спроса на электроэнергию и мощность прогнозируются на различных временных интервалах. Правильное планирование мероприятий на долгосрочную перспективу приводит к соблюдению перспективных балансов, что позволяет предотвратить дефициты мощности [1, 2]. Рынок «на сутки вперед» (РСВ), относящийся к краткосрочному планированию, позволяет обеспечить реализацию электрических режимов.

Цель работы — выявление зависимости осуществленных мероприятий, разработанных в рамках долгосрочного планирования развития электроэнергетической системы (ЭЭС) России, на узловые цены на РСВ. На основе прогнозов, представленных в Схемах и программах развития Единой энергетической системы России, начиная с 2011 года, и фактических данных определены отклонения и выявлены факторы, внесшие наибольший вклад в ошибку прогнозирования. Из [3] взяты узловые цены (УЦ) на РСВ, посчитаны различные схемно-режимные и режимно-балансовые ситуации, проведено сравнение УЦ сценарных расчетов с базовым сценарием, для которого имеются УЦ по данным [3]. Расчеты подтверждают эффективность мероприятий долгосрочного планирования, отраженную в установленных ценах РСВ. Результаты исследования позволят определить, как влияют мероприятия по развитию ЭЭС на торги на РСВ: ввиду того, что на РСВ решается оптимизационная задача по поиску максимума целевой функции, направленной на увеличение благосостояния участников оптового рынка, после сценарных расчетов можно сделать вывод по выгоде, получаемой участниками в результате модернизации ЭЭС.

### **Литература**

1. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2017 г. № 1209-р.
2. Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2022-2028 годы. Утверждены приказом Минэнерго России от «28» февраля 2022 г. № 146.
3. Администратор торговой системы: официальный сайт. URL: <https://www.atsenergo.ru/>

*Д.Ш. Норов, А.В. Благочиннов, аспиранты;  
рук. В.Г. Кульков, д.ф.м.н. проф. («НИУ «МЭИ»)*

## **ВОЗНИКНОВЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДА**

Воздействие механических нагрузок на провода ВЛ со временем приводит к усталостному разрушению либо отдельных проводников в общей скрутке алюминиевого провода, либо к разрыву всего провода. Скопление дефектов приводит к образованию микронесплошностей и субмикроскопических трещин. В результате появляются микротрещины, способные к росту. Эволюция дефектной структуры в поверхностном слое провода приводит к зарождению поверхностных субмикроскопических трещин. Такой процесс происходит в течение всего срока эксплуатации линии.

Предлагается механизм зарождения трещины вблизи поверхности провода. В процессе нагружения на сегментах границ зерен, расположенных под углом  $\pi/4$  к оси провода, образуется двустороннее скопление дислокаций. Вершина скопления расположена на некотором расстоянии от поверхности и соединена с ней границей зерна, нормальной к оси. В процессе релаксации напряжения возникает диффузионный поток вакансий вдоль границы от поверхности к вершине скопления. При этом на поверхности провода образуется канавка с вершиной на межзеренной границе. Существующий диффузионный поток приводит к увеличению глубины канавки. Рост канавки является начальной стадией зарождения трещины. В дальнейшем энергия системы понижается путем разгрузки скопления и преобразования двустороннего скопления в одностороннее. Энергетический выигрыш учитывает разность энергии этих скоплений, исчезновение исходной границы зерна и появление на ее месте раскрывшейся трещины.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания РФ, грант № FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергосистем на основе цифровых технологий» с использованием оборудования и программного обеспечения Центра коллективного пользования научным оборудованием «Материаловедение и диагностика в перспективных технологиях» (Физико-технический институт РАН им. А.Ф. Иоффе (Ioffe Institute), Санкт-Петербург, Россия).

*Ю. Цюань, студ.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ РАЗНЫХ ДОЛЯХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время к электрической сети энергосистемы присоединяется всё больше возобновляемых источников энергии (ВИЭ), преобразующих энергию ветра. По сравнению с ЭЭС содержащей только традиционную генерацию, часть генерирующих агрегатов (ГА) замещается ВИЭ, что приведет к снижению значения суммарной инерции вращающихся частей системы, и может привести к ухудшению условий динамической устойчивости системы.

В работе проведено исследование влияния доли ВИЭ по мощности на значение предельного времени отключения короткого замыкания. Короткое замыкание моделировалось в 5 различных точках энергосистемы. Доля генерации ВИЭ изменилась с шагом 5%. Ветроустановки были представлены установками с асинхронизированными синхронными генераторами и синхронными генераторами с постоянными магнитами, присоединяемыми к электрической сети через преобразователя частоты. Исследование выполнено в программно-вычислительном комплексе DigSILENT PowerFactory.

Результаты работы показывают, что с увеличением доли ВИЭ, предельное время отключения короткого замыкания уменьшается, условия динамической устойчивости ЭЭС ухудшается. Следовательно, может потребоваться применение технических способов и средств обеспечения устойчивости ЭЭС.

### **Литература**

1. **СНІ У.** Impact of Large Scale Wind Farm Integration on Power System Transient Stability // Automation of Electric Power Systems, Vol. 30, No. 15, Aug. 10, 2006.

*И.Р. Тухфатуллин, студ.;  
рук. Р.Г. Хузяшев, к.ф.-м.н., доц. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ МНОГОМОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЕРЕХОДНОГО СИГНАЛА**

Для линий электропередач (ЛЭП) до сих пор не существует реально используемых эффективных методов дистанционного определения места (зоны) повреждения. В связи с этим исследование и разработка методов дистанционного определения места повреждения представляет практический интерес.

На данный момент имеется численное решение частот переходного процесса лишь для одноконтурной цепи. В [2] была получена формула для многоконтурной цепи. Задача статьи: проверить подлинность формул, полученных в статье при помощи моделирования сигналов переходного процесса в пакете PSCAD.

В [2] показано, что для приближенных расчетов переходных процессов при аварии в кабельных сетях 6–10 кВ можно использовать двухчастотную схему замещения. На основе этой схемы была составлена цепь в пакете PSCAD.

Моделирование показало, что период колебаний первого контура с источником питания (первой моды) равен 199,47 мкс, второго контура с ключом (второй моды) — 6,28 мкс.

Рассчитанные по [2] периоды двухконтурной цепи равны 397,48 и 6,28 мкс.

Таким образом, аналитическое решение не соответствует верификационным результатам пакета PSCAD, в отличие от результатов эквивалентирования веток, на основании которого на языках программирования C++, Python была составлена программа по расчету частот переходного процесса.

В дальнейшем планируется поиск аналитического решения для амплитуды силы тока. Будет рассматриваться внедрение полученных результатов в программно-аппаратный комплекс волнового определения места повреждения в сетях, обладающих разветвленной топологией.

### **Литература**

1. **В.А. Матвиенко.** Основы теории цепей: учебное пособие для вузов — Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. — 162 с.
2. **В.А. Шуин.** Начальные фазовые соотношения электрических величин переходного процесса при замыканиях на землю в кабельных сетях 6–10 кВ // Электричество. — 1991 г. — № 10. — С. 58–61.

*Хэ Сяомань, студ.; рук. М.А.Х. Толба, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

На сегодняшний день развитие распределенной генерации (РГ) является одной из приоритетных задач электроэнергетики. С точки зрения концепции и области применения, распределенная генерация имеет следующие выдающиеся особенности: распределенная генерация обычно располагается рядом с потребителем и напрямую подключается к распределительной сети, что сокращает площадь земли, используемой для строительства инфраструктуры; распределенные источники энергии являются относительно чистыми источниками энергии, что способствует защите окружающей среды; в качестве дополнения к крупной энергосистеме распределенная генерация может повысить гибкость и надежность регулирования энергоснабжения; распределенная энергетика подходит для районов, удаленных от крупных электрических сетей, и имеет больше преимуществ, чем введение крупных электрических сетей.

В данной работе обоснована экономичность и целесообразность использования газопоршневых агрегатов в региональной электросети с целью замены электроснабжения от внешней электросети. Затем, на основе проанализированного выше указанного варианта, в удаленные узлы нагрузки включаются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В программе Matlab выполняется моделирование и расчет потока мощности для изменяющихся во времени силовой нагрузки и энергии от возобновляемого источника. В таблице 1 приведено сравнение годовых потерь мощности в сети и мощности, отдаваемую распределенным источником питания в ЭЭС за год до и после интеграции возобновляемых источников энергии.

**Таблица 1.** Сравнение потерь мощности и годовой мощности от сети в ЭЭС

	<b>Годовые потери мощности</b>	<b>Годовая мощность от сети в ЭЭС</b>
До/МВт·ч	10 327,051	302 451,700
После/ МВт·ч	9 624,405	449 077,384

Из таблицы видно, что после интеграции ВИЭ в сети годовые потери мощности уменьшаются и годовая мощность от сети в ЭЭС увеличивается.

В данной работе показано, что применение РГ экономически и технически эффективно для покрытия новых нагрузок в сети по сравнению с внешним сетевым электроснабжением.

### **Литература**

1. Удинцев Д.Н., Шульженко С.В., Чувашев Р.С., Валиева Э.Т. Расчет основных параметров системы электроснабжения с рас-пределенной генерацией. Практикум. — М., Издательство МЭИ, 2021. — 66 с.
2. WANG Jian-xue, ZHANG Yao, WAN Xiao-zhong. Research of index system and typical curves on photovoltaic power output characteristics.

*В.Ю. Прялкин, Д.А. Солныков, студенты;  
рук. В.В. Зажигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ТЕРМОГРАФИИ КАК МЕХАНИЗМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Современная техника диагностики представляет широкие возможности для исследования инфракрасного излучения, исходящего от нагретых частей электрооборудования. Тепловизионные приемники позволяют визуальное излучение преобразовать в видимое по средством термограмм. Термограмма позволяет адекватно оценить техническое состояние, выявить температурные различия на поверхности объекта исследования и определить влияние данных различий на надежность и безопасность работы электрооборудования в порядке текущей эксплуатации без отключения его от действующей электрической сети.

В докладе представлена информация о многочисленных факторах, влияющих на формирование тепловизионного изображения при оценке технического состояния оборудования, физических процессах, протекающих с выделением тепла в токоведущих частях, а также приведена методика расчета тепловых потоков в установленном тепловом режиме изоляции. Полный тепловой поток от нагретой поверхности в окружающую среду в общем случае имеет три составляющие: потоки за счёт теплопроводности, теплоотдачи посредством излучения и конвекции.

Результатом исследования метода количественной термографии является создание математической модели переноса тепла и построение зависимости распределения температуры внутри изоляционного слоя и вне его. Такая модель позволяет прогнозировать перегрев оборудования по температуре на поверхности изоляционного слоя.

Технический результат, на достижение которого направлен метод, заключается в повышении надежности функционирования распределительной электрической сети. Указанный технический результат достигается за счёт предупреждения аварийных ситуаций путём повышения наблюдаемости электрооборудования.

### **Литература**

1. **А.Б. Власов** «Тепловизионная диагностика объектов электро- и теплоэнергетики (диагностические модели)». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2005.
2. **А.Б. Власов** «Модели и методы термографической диагностики объектов электроэнергетики». — М.: Колос, 2006.



**Секция 53**  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**  
**Power supply**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Шведов Галактион Владимирович*

*Секретарь секции: Королева Елизавета Сергеевна*

*М.М. Сергеева, асс.; А.С. Рачев, студ.;*  
*рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **УСТРОЙСТВО ВРЕМЕННОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

В настоящее время существует большое количество предпосылок возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетической системе, имеющих как прогнозируемый, так и случайный характер. Целью проводимого в рамках доклада исследования является поиск нового технического решения, благодаря которому появляется возможность повышения надежности электроснабжения потребителей, снижение недоотпуска электроэнергии потребителям, а также предотвращение возникновения и развития аварийных и чрезвычайных ситуаций [1].

Предлагаемое устройство позволит временно повысить пропускную способность силового трансформатора путем учета параметров силового трансформатора и условий его эксплуатации. В случае, если значение температуры окружающей среды и величина предварительной загрузки трансформатора, в соответствии с [2], позволяет разрешить временную эксплуатацию силового трансформатора в условиях утяжеленного режима работы с максимально допустимой температурой нагрева токопроводящей части вводов, происходит регулировка уставки на отключение при помощи блока учета параметров силового трансформатора. В противном случае возникает необходимость регулировать величину нагрузки при помощи известного устройства защиты силового трансформатора [3].

При достижении температурой токопроводящей части вводов значения уставки срабатывает контактор, что приводит к подаче управляющего сигнала на цифровую систему управления с целью отключения неприоритетной очереди потребителей для временного снижения нагрузки и охлаждения токопроводящей части вводов силового трансформатора.

### **Литература**

1. **Удинцев Д.Н., Шведов Г.В., Милованов П.К.** Предотвращение развития аварийных ситуаций в электроэнергетической системе за счет гибкого регулирования потребления электроэнергии. Печатный. Электроэнергия. Передача и распределение. — 2019. — № 5(56). С. 58–64.
2. **ГОСТ 14209-85.** Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. — 1985-07-01.
3. **Удинцев Д.Н., Сергеева М.М., Королев В.М., Тульский В.Н., Купцов Д.А.** Устройство защиты силового трансформатора. Патент на изобретение № 2754350. — 01.09.2021.

*М.М. Сергеева, асс.; рук. Д.Н. Удинцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УСТРОЙСТВ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Постоянное развитие ЕЭС, и, как следствие, увеличение присоединяемых мощностей, влечет за собой повышение нагрузок на систему передачи и распределения электроэнергии. В случаях отключения перегружаемого электрооборудования нагрузка ложится на соседние связи, что может привести к развитию каскадной аварии, снижению надежности и качества электроэнергии у потребителя, а также к недоотпуску электроэнергии потребителям [1].

Предлагаемый комплекс технических устройств направлен на предотвращение возникновения и развития аварийных отключений электросетевого оборудования по условию перегрева и достижения предельной пропускной способности элементов СПиРЭЭ. Данный комплекс включает в себя: устройство временного повышения пропускной способности воздушной линии [2]; устройство защиты силового трансформатора [3]; устройство защиты кабельной линии [4], которые устанавливаются на границах раздела классов напряжения и у конечных потребителей и связаны между собой линиями оптической волоконной связи. Данные устройства позволяют временно повысить пропускную способность элементов СПиРЭЭ путем учета параметров каждого из элементов и его условий эксплуатации.

Данный комплекс не противоречит работе систем релейной защиты и автоматики и является дополнением к существующему комплексу противоаварийной автоматики, может быть исполнен на низкий и средний классы напряжения и установлен в точках присоединения потребителей к энергосистеме.

### **Литература**

1. **Удинцев Д.Н., Шведов Г.В., Милованов П.К.** Предотвращение развития аварийных ситуаций в электроэнергетической системе за счет гибкого регулирования потребления электроэнергии. Печатный. Энергетика. Передача и распределение. — 2019. — № 5(56). С. 58–64.
2. **Удинцев Д.Н., Сергеева М.М., Милованов П.К., Ойкина Г.И., Насыров Р.Р.** Устройство повышения пропускной способности воздушной линии. Патент на изобретение № 2733060. — 29.09.2020.
3. **Удинцев Д.Н., Сергеева М.М., Королев В.М., Тульский В.Н., Купцов Д.А.** Устройство защиты силового трансформатора. Патент на изобретение № 2754350. — 01.09.2021.
4. **Удинцев Д.Н., Пешков А.А., Милованов П.К., Тульский В.Н.** Устройство защиты кабельной линии. Патент на полезную модель RU155967U1. — 27.10.2015.

*С.Д. Никитина, соиск.; рук. В.В. Зажигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ СЕТИ 20 КВ С НИЗКООМНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ**

Электрическая сеть 20 кВ начала развиваться в России с начала 2000х годов и наибольшее развитие получила в г. Москве. Одной из главных особенностей данной сети является режим заземления нейтрали через низкоомный резистор.

Важным вопросом для любой электрической сети является обеспечение электробезопасности. Для ее обеспечения нормативными документами устанавливаются параметры заземляющего устройства (ЗУ) и нормируются значения напряжения прикосновения ( $U_{пр}$ ). В вопросе нормирования сопротивления контура заземления подстанции сеть с низкоомным заземлением нейтрали занимает особое положение. С точки зрения величин токов, протекающих через ЗУ, эта сеть относится к сети с изолированной, точнее неэффективно заземленной нейтралью. Поэтому для нормирования сопротивления ЗУ должны использоваться выражения п. 1.7.96 Правил устройства электроустановок. В то же время токи через ЗУ достаточно велики, и достигая значений 1000–2000 А не могут быть использованы в выражении п. 1.7.96, поскольку расчётные значения сопротивления контура ЗУ достигают малых, нереализуемых значений. Допустимые значения  $U_{пр}$  устанавливает ГОСТ 12.1.038-82, который, однако, не предоставляет методики расчета.

ГОСТ Р 50571.4.44-2019, разработанный на основе международного стандарта МЭК 60364-4-44:2007, вводит параметр — напряжение повреждения ( $U_{пов}$ ), возникающее в низковольтной системе между открытыми проводящими частями и землей во время повреждения, нормирует его и предоставляет методику расчета. На основе этой методики произведен расчет  $U_{пов}$  для двух ПС 220/20 кВ. Полученные расчеты показывают, что увеличение количества КЛ, подключенных к шинам 20 кВ ПС 220/20 кВ, снижает значение  $U_{пов}$  на самой ПС, но увеличивает его на ЗУ удаленных ТП за счет возрастания тока однофазного замыкания. Значение  $U_{пов}$  на ЗУ зависит от длины и количества отходящих КЛ, а также сопротивления контура заземления. Для оценки условий электробезопасности сети 20 кВ следует выполнять расчеты растекания тока с учетом дополнительной металlosвязи всех РП и ТП с ЗУ центров питания, производить перерасчет и контролировать значения  $U_{пов}$  для заданного времени отключения при изменении числа подключенных к ПС КЛ и/или конфигурации сети.

Ю.Д. Шурова, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доцент;  
Мохамед Али Хассан Толба, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОГО ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 380/220 В

Применение графического метода для выбора параметров пассивного фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ) для компенсации высших гармоник от потребителя с нелинейной вольт-амперной характеристикой ранее не применялось. В данной работе представлены результаты попытки применения указанного метода для выбора  $L$ ,  $C$  пассивного ФКУ. В работе представлена схема цепи с нелинейным элементом (рис. 1), а также ВАХ её пассивных элементов (рис. 2, 3). На схеме показано последовательное соединение двух пассивных элементов, ВАХ которых заданы:  $U_1(I)$ ,  $U_{нз}(I_{нз})$ . Для определения тока  $I$  и напряжений  $U_1$  и  $U_{нз}$  на элементах при заданном  $E=U$  построим вспомогательную характеристику  $U_1(I)+U_{нз}(I)$ , суммировав напряжения  $U_1$  и  $U_{нз}$  при одинаковых значениях тока [1]. Используя графический метод расчета нелинейных электрических сетей, были подобраны параметры  $L$ ,  $C$  ФКУ [2] для снижения уровня суммарного коэффициента гармонических искажений  $k_I$  в ТОП. В работе также представлена модель трехфазной сети, демонстрирующая данную зависимость.

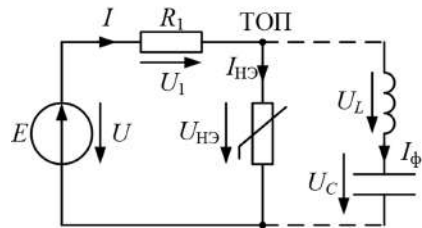


Рис. 1. Схема цепи

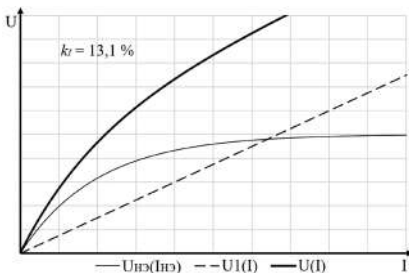


Рис. 2. ВАХ до подключения ФКУ

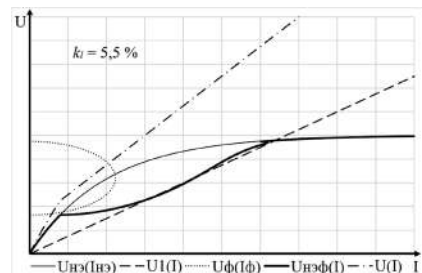


Рис. 3. ВАХ после подключения ФКУ

### Литература

1. Зевеке Г.В. Основы теории цепей — М.: «Энергия», 1975.
2. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии — М.: Изд. МЭИ, 2017.

*Йе Хтут Мьят, асп.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ РИСОВОЙ ЛУЗГИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ СОЮЗ МЬЯНМА**

Начиная с 2015 года в Республике Союз Мьянма ежегодно растет электропотребление и уровень электрификации населения [1]. Соответственно, возрастает нагрузка на существующие распределительные электрические сети. Актуальной становится задача развития распределительных сетей.

В настоящее время загрузка трансформаторов 33/11 и 11/0,4 кВ в большинстве случаев не превышает 65%, что позволяет ее удвоить, не превышая допустимую систематическую перегрузку трансформаторов. Линии напряжением 33 кВ также имеют не менее чем двукратный резерв по пропускной способности. У большей части линий напряжением 11 кВ запас пропускной способности не более чем 40%. Загрузка отдельных линий 11 кВ достигла предельного уровня [2]. Соответственно в условиях роста электропотребления первоочередной задачей становится повышение пропускной способности сетей 11 кВ.

В настоящее время в стране планируется к реализации проекты организации производства теплоизолирующей смеси (диоксида кремния) для использования в металлургии из золы рисовой лузги. В процессе производства диоксида кремния проходит выделением большого количества тепловой энергии (Переработка 1 тонны лузги позволит вырабатывать 3,7 МВт). Эту энергию можно применяться как источник отопления для населения или для промышленного назначения, а также для выработки электроэнергии.

При подключении данного источника электроэнергии к электрической сети решится проблема с перегрузкой головных участков фидеров 11 кВ по мере подключения новых домохозяйств к существующей электрической сети и роста электропотребления существующих домохозяйств.

В дальнейшем исследовании планируется определить рациональную точку подключения данной установки к распределительной электрической сети напряжением 11 кВ.

### **Литература**

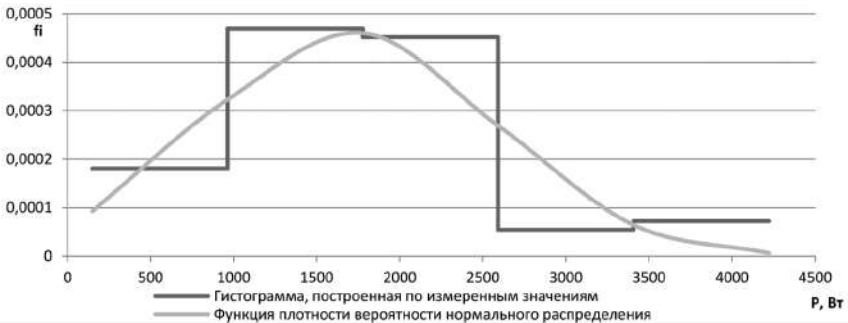
1. Министерство электричества и энергетики [Офиц. сайт]. <https://www.moe.gov.mm/en/ignite/index>.
2. **Йе Хтут Мьят, Шведов Г.В.** Развитие распределительных электрических сетей напряжением 11 и 33 кВ Республики Союз Мьянма // Вестник МЭИ. № 1. 2022.

*В.А. Хомичев, студ.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ КВАРТИРЫ

В наши дни вопросы исследования электрических нагрузок жилых зданий приобретают особую актуальность в связи с тем, что наблюдается интенсивная электрификация домашних хозяйств и цифровизация всех сфер жизни человека. Эти процессы в наибольшей степени коснулись основы любого жилого здания — отдельной квартиры. При этом в справочной литературе не рассматривается характер электропотребления квартиры, а приводится значение её удельной электрической нагрузки.

В данной работе исследовался характер потребления активной мощности на вводе в квартиру в часы ночного максимума в зимний сезон. На основе фактических измерений был построен суточный график нагрузки будних дней. Для данного графика анализировалось распределение максимумов активной мощности в течение суток. Для рассматриваемого сезона можно выделить ночной максимум в период с 23:50 до 01:00. Для данного максимума была получена гистограмма распределения случайной величины максимумов активной мощности, представленная на рисунке 1.



**Рис. 1.** Гистограмма распределения активной мощности в часы ночного максимума

В результате исследования выявлено, что распределение значений мощности в часы ночного максимума соответствует нормальному закону распределения случайной величины с математическим ожиданием 1694 Вт и среднеквадратическим отклонением 863 Вт. Полученные результаты можно использовать при проектировании жилых зданий для актуализации расчетных электрических нагрузок квартир.

### Литература

1. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. — М.: Высшая школа, 2000. — 480 с.
2. **Шведов Г.В.** Системы электроснабжения: учебник / Г.В. Шведов, Т.А. Шестопалова. — М.: Издательство МЭИ, 2018. — 312 с.

*А.Ю. Горячкин, В.Н. Горелова, студенты;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)*

## АНАЛИЗ ЖАЛОБ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем в областях электро-снабжения и управления качеством электроэнергии является большое количество жалоб потребителей, ежегодно поступающих в электросетевые компании.

Анализ текущей ситуации проводился на примере распределительной сети с общей протяженностью линий 170 тыс. км и включающей 45 тыс. подстанций.

В качестве исходной задачи была взята статистика поступления жалоб за 5 лет — с января 2017 года по январь 2022 года. По результатам обработки данной статистики было построено процентное распределение проблемных показателей качества электроэнергии (ПКЭ), представленное на рисунке 1.

Проведенный анализ показывает, что в основном потребители жалуются на низкое напряжение в бытовых розетках, которое они измеряют мультиметрами — данные показатели указывают на медленные изменения напряжения. В своих претензиях потребители ссылаются на действующий стандарт — ГОСТ 32144-2013, который устанавливает допустимое длительное отклонение напряжения в диапазоне до 10% от согласованного значения.

Динамика поступления жалоб, представленная на рисунке 2, показывает значительный рост в последние два года анализируемого периода. Данный факт может быть связан с появлением в регионе web-ресурсов, курируемых местными органами власти, которые упрощают процесс подачи потребителями жалоб на некачественную электроэнергию.

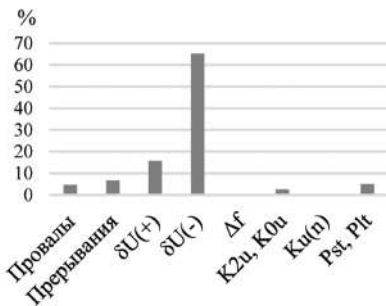


Рис. 1. Распределение проблемных ПКЭ

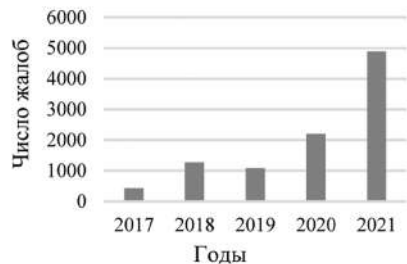


Рис. 2. Динамика поступления жалоб

### Литература

1. **И.И. Каргашев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов** и др. Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
2. **ГОСТ 32144–2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения. М.: Стандартиформ, 2013. 16 с.



*А.П. Торохтунов, А.А. Ланкин, Е.А. Ионенко, студенты;  
рук. Д.Н. Асаинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С УЧАСТКОМ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ СЕТИ С ЗАРЯДНЫМИ СТАНЦИЯМИ**

Развитие электрического транспорта на сегодняшний день рассматривается как решение экологических проблем окружающей среды, а также как решение будущих потребностей в энергии. Учитывая то, как быстро меняется мир, развитие такого рода транспорта становится жизненной необходимостью. В настоящее время появляется всё больше зарядных станций для электромобилей, но зарядные устройства нигде не сертифицируются. Для того, чтобы их проверить, необходима математическая модель заряжаемого транспорта, которая будет учитывать системы АКБ [1] как нагрузку с целью возможности проведения тестирования ЭЗУ при медленной зарядке без использования электромобиля. Моделирование всей модели происходит в программе SimInTech. Во входные параметры вводятся данные о используемой мощности, значение тока и напряжения. В результате моделирования собираются и обрабатываются данные об электрических параметрах [2]:

- напряжение (поддержание заданного значения и защита от перенапряжения или его просадки; значение снимается с счетчика электроэнергии (далее ЭЭ));
- ток (контроль значения; значение снимается с трансформаторов тока(ТТ));
- мощность (контроль значения; значение снимается со счетчика ЭЭ);
- кол-во ЭЭ (со счетчика ЭЭ),

а также уровень заряда аккумулятора, максимально допустимую нагрузку по току для зарядного кабеля.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка электрической зарядной станции электромобилей и стенда по испытаниям для создания центра производства и сертификации на базе ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Возмилов А.Г., Панишев С.А., Лисов А.А.** Исследование и математическое моделирование литий-ионного аккумулятора // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2022. Т. 22, № 2. С. 30–36. DOI: 10.14529/power220203
2. **ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013**

*К.А. Гурьянова, С.В. Терзе, студенты;  
рук. В.В. Зажигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗКИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ПО LED ТЕХНОЛОГИИ**

Одним из основных параметров функционирования источника света выполненного по LED технологии, является статическая характеристика нагрузки в условиях его работы в системе наружного освещения. Светодиодный светильник как элемент электрической нагрузки имеет нелинейную вольт-амперную характеристику, получение достоверных данных СХН является актуальной для производителей, эксплуатирующих системы освещения организаций и бытовых компаний.

В докладе представлены результаты эксперимента по определению СХН, проведённого в условиях городской среды. Тип применяемого светотехнического оборудования — светильник типа GALAD Волна Мини LED-60-ШБ1/У50 IP54 РС. В качестве метода эксперимента был выбран пассивный, в ходе которого в течение определённого промежутка времени идёт регистрация параметров электропотребления без принудительного изменения напряжения в точке подключения к питающей сети. Результатом эксперимента стали показания напряжения и потребляемой нагрузкой мощности, после обработки данных была получена зависимость мощности от приложенного напряжения. На основании данного графика был проведён анализ и составлена статическая характеристика LED нагрузки.

Анализ статических характеристик LED нагрузки важен для расчета режима работы энергетической системы из-за активного применения LED светильников для городского, промышленного и бытового освещения и, следовательно, влияния данного светотехнического оборудования на потребление активной и генерацию реактивной мощности в распределительной сети.

### **Литература**

1. **Справочная книга по светотехнике** / Под ред. Ю.Б. Айзенберга С 74 3- е изд. перераб. и доп. М.: Знак., 2006 — 972 с: ил.
2. **Гребенникова И.В.** Методы математической обработки экспериментальных данных: учебно-методическое пособие / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 124 с.

**Секция 54**  
**ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**  
**History of energy**

---

*Председатель и секретарь секции:  
к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

*В.Д. Семенова, студ.;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОБЪЕДИНИВШАЯ БЕРЕГА ВОЛГИ: ИСТОРИЯ ЖИГУЛЁВСКОЙ ГЭС**

В начале 40х годов прошлого века на Красной Глинке был заложен посёлок Управленческий, где по плану должен был расположиться штаб строительства Жигулёвской гидроэлектростанции. Но вмешалась Великая Отечественная Война, и все строительные работы были приостановлены. В послевоенное время, в 1950 году, рядом с селом Отважное развернулась стройка, в ходе которой была возведена самая крупная в стране плотина, созданы гигантский машинный зал и мощные судоходные шлюзы [1].

16 ноября 1955 года началось заполнение заранее подготовленного ложа Куйбышевского водохранилища. Его площадь была настолько внушающей, что котлован водосливной плотины был полностью заполнен только через два года. 10 июня 1957 года уровень водохранилища достиг проектной отметки. В ложе «Жигулёвского моря» находилось около 58 миллиардов кубометров воды, а его площадь достигала 5900 квадратных километров. В Советское время оно было самым крупным в мире искусственным водным объектом.

В построенном здании ГЭС, в одно время со строительством плотины, шли сборка и отладка гидроагрегатов, призванных превращать энергию падения воды в удобную для использования электроэнергию. В 1955 году началась установка первого гидроагрегата Жигулёвской ГЭС. Уже через полгода он был введен в эксплуатацию. В машинном зале ГЭС установлены 20 вертикальных гидроагрегатов: 16 по 125,5 МВт и 4 по 120 МВт. Они имеют поворотно-лопастные турбины, работающие на расчётном напоре 21 м. Турбины приводят в действие генераторы мощностью 125,5 МВт каждый [2].

История Жигулёвской ГЭС — это история Волги и её берегов. Громадное водохранилище хранит в своих недрах целый город Ставрополь-на-Волге. Но всё новое приходит на замену старому, и без ГЭС не было бы города Тольятти и АвтоВАЗа — крупнейшего в России завода по производству легковых автомобилей.

### **Литература**

1. **А.А. Романов.** Куйбышевский гидроузел. История и жизнь. Изд-во «Самара: Арт-Лайт», 2018.
2. РусГидро: <http://www.zhiges.rushydro.ru/hpp/hpp-history/>

*Н.А. Сараев, С.Д. Статкевич, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ ВОЛЖСКОЙ ГЭС**

Одним из наиболее значимых объектов отечественной энергетики является Волжская ГЭС — крупнейшая гидроэлектростанция в Европе и важное звено Единой энергосистемы России. Среднегодовая выработка электроэнергии составляет 11,1 млрд кВт·ч, а установленная мощность — 2734 МВт [1].

История ГЭС началась в 1930-ые годы, когда разрабатывалось множество планов по созданию на Волге каскада гидроузлов, но к вопросу возведения его нижней ступени вернулись только после Великой Отечественной войны. 6 августа 1950 года было принято постановление Совета Министров СССР о строительстве Сталинградской ГЭС мощностью 1700 МВт. Под руководством начальника Ф.Г. Логинова велись масштабные работы по разминированию территорий будущего энергообъекта, созданию котлована, водосливной плотины и судоходного шлюза, были созданы строительная организация «Сталинградгидрострой» и ИТЛ «Ахтублаг», численность которого достигала 26044 человек [2]. После смены руководителя А.П. Александрову в кратчайшие сроки удалось увеличить темпы строительства, что позволило запустить первый гидроагрегат 22 декабря 1958 года. К 1960 году водохранилище было заполнено до проектной отметки, а в работе находилось 22 агрегата. Позднее Сталинградская ГЭС была переименована в Волжскую ГЭС имени XXII съезда КПСС и 9 сентября 1961 года объект был принят государственной комиссией. На данном этапе истории мощность гидроэлектростанции составляла 2415 МВт, что позволило ей стать крупнейшей ГЭС во всем мире, а также «визитной карточкой» СССР. В круг почётных гостей, посетивших электростанцию, вошли представители разных государств, советские маршалы, народные артисты и космонавты [1].

Возведение Волжской ГЭС имело огромное экономическое значение — отсутствие расходов на добычу и транспортировку топлива снизило в 9 раз себестоимость электроэнергии и позволило Волжской ГЭС окупиться за 3 года. Социальными последствиями стали переселение около 55 тысяч человек и образование города Волжский [2]. Появление плотины стало серьёзным ударом по экосистеме Волги и её прибрежным районам, поскольку была перекрыта нерестовая дорога рыбе из Каспийского моря.

### **Литература**

1. Волжская ГЭС, общие сведения, <http://www.volges.rushydro.ru/hpp/general/>
2. **Бурдин Е.А.** Волжский каскад ГЭС: триумф и трагедия России. — М.: РОССПЭН, 2011. — 398 с.

*Е.С. Астахов, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **БУРЕЙСКАЯ ГЭС: ИСТОРИЯ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕГИОНА**

С началом электрификации СССР начинается развитие энергетического комплекса Дальнего Востока. В рамках генерального плана электрификации Дальневосточного Края предполагается строительство крупных электростанций, в том числе и Бурейской ГЭС [1].

Стройка начинается в 1976 г., когда в Талаканский створ Буреи прибывают первые гидростроители. После окончания подготовительного этапа в 1985 г. в тело плотины укладывается первый кубометр бетона. В 90-х гг. проект переживает период депрессии: финансирование проекта практически прекращено, работы заморожены. Однако к 2000-му г. ситуация в РФ стабилизируется, правительство активно выделяет средства на строительство ГЭС, в результате чего уже через три года был пущен первый гидроагрегат станции. В 2009 г. Бурейская ГЭС выходит на свою проектную мощность 2010 МВт, а в 2014 строительство объекта завершается полностью [2].

Сегодня Бурейская ГЭС является крупнейшим производителем электроэнергии в ОЭС Востока. Она участвует в регулировании суточных пиков электропотребления, а также поддерживает необходимый резерв мощности для устойчивой работы энергосистемы. Важнейшей функцией ГЭС для Дальнего Востока является регулирование весеннего паводка, что позволяет предотвратить наводнения или минимизировать их последствия.

В 2018 г. в водохранилище Бурейской ГЭС случилось уникальное происшествие. В 120 км от плотины станции сошёл оползень, который полностью перекрыл створ реки [3]. Это вызывало ряд опасных угроз: затопление населённых пунктов и объектов инфраструктуры, опасность неконтролируемого прохождения весеннего паводка. В связи с этим совместно с Министерством Обороны РФ была проведена операция по ликвидации последствий оползня. В результате удалось создать протоку, которая восстановила естественное течение Буреи.

### **Литература**

1. **Маклюков А.В.** «Дальневосточный ГОЭЛРО». Из истории планирования электрификации Дальнего Востока в середине 1920-х – начале 1930-х гг. // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2015. № 4 (35).
2. ЭТО НАША БУРЕЙСКАЯ ГЭС. — Благовещенск, Издательский Дом «Амур», 2011. — 250 с.: ил. — (Приамурье — опорный край Дальней России).
3. **Махинов А.Н., Ким В.И.** Крупный оползень в долине реки Бурей и цунами в водохранилище бурейской ГЭС // Вестник ДВО РАН. 2019. № 2 (204).

*Е.Р. Симонова, студ.;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. КОМПАНИЯ «INENERGY»**

Топливный элемент (ТЭ) — это электрохимическое устройство, преобразующее химическую энергию топлива в электрическую энергию прямым методом. КПД выпускаемых ТЭ достигает 60 % [1].

Принцип действия топливных элементов был открыт еще в 1839 г. английским ученым Уильямом Робертом Грове, который обнаружил, что процесс электролиза обратим, то есть водород и кислород можно объединить в молекулы воды с выделением тепла и электричества. В 2004 году была основана компания «InEnergy», технологический лидер в области электрохимических решений для новой энергетики (Произведено свыше 5000 батарей топливных элементов).

Основные направления деятельности группы компаний «InEnergy»:

- 1) ТЭ на основе водород-воздушных топливных элементов с протонообменными мембранами (ПОМТЭ) преобразуют химическую энергию водорода непосредственно в электричество, выделяя лишь теплый водяной пар [2]. ОАО «РЖД» совместно с «InEnergy» разработали лабораторный комплекс «Водородный кластер» для испытаний электрохимических генераторов, который включает в себя: ПОМТЭ на водороде и литий-ионная батарея. Другой проект «InEnergy» и ПАО «МТС» — Система резервного электропитания базовой станции. (Содержит генератор с ПОМТЭ на водороде мощностью — 6 кВт).
- 2) Электрохимические системы накопления энергии для стационарных применений на основе: литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), проточных редокс-батарей (ПРБ). Проект «InEnergy» с ПАО «РусГидро» — Гибридная СНЭ на Русском острове. Предназначена для работы с СЭС 30 кВт и внутренней сетью ТЭЦ Центральная о. Русский (Владивосток) для моделирования режимов работы гибридных энергоустановок в АГЭУ ДФО. Включает в себя литий-ионную батарею, проточную батарею.

ТЭ являются перспективной технологией с множеством преимуществ и количество реализованных проектов на сегодняшний день увеличивается.

### **Литература**

1. **Кашин А.М., Голодницкий А.Э.** Статья «Энергетические установки с топливными элементами — перспективы практического использования в электроэнергетике».
2. **Ковалевский В.П., Филиппов С.П.** Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки. — М.: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2017. 392 с.

*И.С. Полыгалин, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОЧЕРКИ О НИЖЕГОРОДСКОЙ ГЭС**

Во все времена Волга и её притоки играли важную роль в жизни человека. «Магушка» Волга всегда помогала народам, проживающим на её берегах, обеспечивала водой и провизией, была отличным способом передвижения, а её берега всегда являлись выгодными районами для развития городов.

Активное развитие энергетики нашей страны пришлось на 20 век. В декабре 1920 года Владимир Ильич Ленин запустил программу масштабной электрификации страны. Нижний Новгород не стал исключением. В это время динамично развивалось строительство гидроэлектростанций. Зародился план «Большая Волга», принципом которого стало превращение реки в цепочку искусственных водохранилищ [1].

В 1940-ом году проектированием Горьковского гидроузла занималось Московское проектное управление «Главгидрострой», но Великая Отечественная война остановила стройку, все силы были направлены на производство изделий для фронта.

Народному комиссариату внутренних дел СССР было поручено решить данную проблему, окончательным вариантом возведение гидроузла стало место чуть выше города Городца, Горьковской области. Но судьба будущей ГЭС была изменена, из-за распада НКВД, стройка была передана Министерству электростанций. Для ускорения строительства были привлечены заключенные.

Первыми сооружениями являлись здание ГЭС и водосливная плотина, которые находились в русле протока Волги — Воложка. Летом 1955 года строительство подошло к самому важному этапу: затоплению котлована [2].

2 ноября 1955 года, в годовщину Октябрьской революции, в 12 часов 5 минут Горьковская ГЭС дала первый промышленный ток. Первая электроэнергия пошла на снабжение центра химической промышленности в городе Дзержинске.

В начале 1956 года в эксплуатации были 5 агрегатов, но на этом развитие станции не остановилось. К концу этого же года всего за 33 дня был смонтирован восьмой гидроагрегат. В 1959 года станция развила мощность более 520 МВт [3].

В 1990 году городу Горькому было возвращено историческое название — Нижний Новгород. В связи с этим Горьковская ГЭС была переименована в Нижегородскую. Сегодня Нижегородская ГЭС, как и многие станции, работает под управлением компании «РусГидро».

### **Литература**

1. **А.А. Голицын.** Большая Волга: Из истории строительства Верхневолжских ГЭС. Издательство «МедиаРост», 2015.
2. <http://www.nizhges.rushydro.ru/hpp/hpp-history/> (История ГЭС).
3. **А.А. Голицын.** Четвёртая ступень. 65 лет Нижегородской ГЭС. Издательство «МедиаРост», 2020.



*В.О. Милованова, студ.;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПЕРВАЯ РАЙОННАЯ ТОРФЯНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ. ГРЭС-3 ИМ. Р.Э. КЛАССОНА**

Потребность в создании районной электростанции, работающей на местном топливе, появилась в конце 19 века из-за нехватки мощности и радиуса работы других электростанций в Москве, которые были построены раньше.

Идея создания такой электростанции пришла Роберту Классону, инженеру из России. В то время, почти вся русская промышленность использовала очень дорогое топливо — бакинский мазут. Классон предлагает использовать местное дешевое топливо — болотный торф, которым так богато Подмосковье.

Электростанция «Электропередача» (сейчас «ГРЭС-3 имени Р.Э. Классона») была построена рядом с озером Госьбужье в посёлке Электропередача (сейчас г. Электрогорск) и дала первый ток потребителям 12 апреля 1914 года. В строительстве данной электростанции принимали участие такие опытные инженеры энергетики, как Глеб Кржижановский, Александр Винтер и Леонид Красин.

Во время тушения пожара на болоте, где добывался торф, Р.Э. Классон изобрел революционный для того времени способ гидродобычи торфа — «гидроторф». Струя воды из брандспойта сбивала с торфяной залежи языки пламени, торф превращался в жидкую массу и стекал по канаве. Как сказал Классон: «А ведь в этом ручейке будущее торфодобычи...». Гидравлический способ добычи торфа был практически осуществлен в начале 1920-х годов.

В наше время ГРЭС-3 входит в состав ПАО «Мосэнерго» и является электростанцией, генерирующей мощности в соседних городах Подмосковья.

### **Литература**

1. **Г.Л. Андреев, С.С. Шандаров;** под общей ред. Е.В. Лушпаевой; «Мосэнерго: 130 лет развития. Юбилейное издание»; 2017. — 256 с.: ил.

*Т.М. Володина, Е.Д. Щиголь, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ВНИЦ ВЭИ «КАТУШКИ ТЕСЛА»**

Комплекс, получивший в народе название «Катушки Тесла», является частью ВНИЦ ВЭИ и в период эксплуатации использовался для проведения экспериментов с высокими напряжениями. Объект расположен в 70 км к северо-западу от Москвы на окраине города Истра.

На полигоне находятся: «Башня Тесла», каскад трансформаторов и установка постоянного напряжения (УПН). При помощи них тестировали электрооборудование очень высокого напряжения, а также проверяли, как поведут себя летательные аппараты при попадании в них молний.

«Башня Тесла», она же генератор импульсных напряжений 9 МВ (ГИН-9), работала по схеме Аркадьева-Маркса. Она была нужна для испытаний изоляции высоковольтного оборудования. Генератор Маркса основан на принципе параллельной зарядки высоковольтных конденсаторов до высокого напряжения, с соединением их в последовательную цепь. Зарядка происходила постепенно, предотвращая преждевременное срабатывание разрядников. После её окончания срабатывал разрядник № 1 — триггер, и из-за перенапряжения срабатывали остальные разрядники. Так получалось замыкание через воздух цепи заряженных конденсаторов. Эта схема была предложена в 1924 г. Э.О. Марксом, но на территории СССР ещё в 1914 г. аналогичную схему разработали В.К. Аркадьев и Н.В. Баклин. Различие заключалось в соединении конденсаторов механически, а не через разряды.

Каскад трансформаторов с коммутационной приставкой имел максимальное выходное напряжение 3,6 МВ. Он состоит из 3 трансформаторов и был разработан в ГДР. Его смонтировали на открытой площадке, чтобы иметь возможность обеспечивать встречное включение источников постоянного, переменного и импульсного напряжений.

Третьим объектом на полигоне является УПН. Она служила защитой от перенапряжений ГИН-9 и каскада трансформаторов.

Испытательный полигон расположен в Истре и по сей день, и, несмотря на многолетнюю историю, до сих пор находится в рабочем состоянии.

### **Литература**

1. «Флагман отечественной электротехники: 90 лет ФГУП ВЭИ», 2011 г.
2. «Всероссийскому электротехническому институту им. Ленина — 90 лет», журнал «История науки и техники», сентябрь 2011 г.

*Д.А. Романов, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **НИИАР — ОТ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДО ОСВОЕНИЯ КОСМОСА**

Развитие атомной энергетики в СССР подразумевало развитие исследовательской и экспериментальной баз, необходимых для решения задач проектирования и инженерного и материаловедческого обоснования. Научно-Исследовательский Институт Атомных Реакторов стал важнейшим объектом в этой отрасли.

НИИАР образовался в результате Постановления Совета Министров СССР о развитии атомной энергетики в стране, принятого 15 марта 1959 года [1]. Местом строительства стал город Мелекесс, расположенный на территории Ульяновской области.

Основными областями исследования НИИАРа являются реакторное материаловедение, моделирование переходных и аварийных режимов работы реакторов, разработка технологий изготовления и переработки топлива ядерных реакторов, утилизация ядерных отходов, производство источников ионизирующего излучения для науки и медицины, облучение и послереакторное изучение материалов и изделий атомной техники [2].

Пуск реактора СМ-3, ставшего первым атомным реактором Института и первым атомным реактором на территории Ульяновской области, состоялся в 1961 г. [1]. Благодаря своей уникальной особенности — возможности наибольшей в мире плотности потока нейтронов в активной зоне — реактор используется во многих опытах, проводимых в НИИАРе. Реактор также способен накапливать актиноиды, включая самый дорогой промышленный металл —  $^{252}\text{Cf}$  [2].

23 мая 1963 года НИИАР посетили США. Делегацию возглавил выдающийся учёный, лауреат Нобелевской премии профессор Гленн Теодор Сиборг. По воспоминаниям сотрудников, реактор АРБУС не впечатлил иностранного коллегу, в отличие от реактора СМ-3 [1].

НИИАР является не только крупнейшей площадкой госкорпорации «РОСАТОМ», но и крупнейшим объектом своего рода в Европе. С 2016 года предприятию присвоен статус Международного центра исследований под эгидой МАГАТЭ [1].

### **Литература**

1. **Клочков Е.П., Гордеев Я.Н., Вавилов С.К.** НИИАР: люди, годы, свершения. Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2017.
2. **ГНЦ НИИАР.** Рекламное издание «Крупнейшая экспериментальная площадка атомной отрасли». Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2021.

*А.Д. Иваницкий, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СУРГУТСКИЕ ГРЭС — ФЛАГМАНЫ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Сургутские ГРЭС — выдающиеся промышленные гиганты Советского времени. В середине 1960-х гг. стремительный рост нефтедобычи требовал опережающих темпов энергетических мощностей. Сургутские электростанции возводились в тяжелейших условиях малообжитых территорий и сурового климата. Для их быстреего ввода в эксплуатацию строительство было объявлено Всесоюзной ударной комсомольской стройкой [1, 82]. В Сургуте применялись ранее неопробованные инновационные технологии и передовые методы организации строительных работ. Опыт Сургутских энергостроителей впоследствии распространился на весь СССР [2, 78–79].

Сургутская ГРЭС-1 — четвёртая по установленной мощности тепловая электростанция в России. Сооружение энергообъекта началось в 1968 г. Темпы строительства первой Сургутской ГРЭС били все рекорды. [3, 33]

Сургутская ГРЭС-2 — крупнейшая в мире тепловая электростанция, работающая на газе. Установленная мощность — 5 597 МВт. Этой мощности хватит, чтобы снабдить электричеством более 5 млн домов россиян. Сооружение станции началось в 1980 г. Электростанция работает на попутном нефтяном (70%) и природном газе (30%). Это делает её более экологичной, в сравнении с ТЭС, работающих на угле. Кроме того, газ, поступающий на Сургутскую ГРЭС-2, проходит серьёзную очистку. Прежде чем направить его в котёл, из него извлекается сера и другие примеси [3, 284].

Сургутская ГРЭС-2 — одна из самых эффективных тепловых электростанций страны. Расход электроэнергии на собственные нужды — менее 2,5%. В 2012 г. станция установила очередной рекорд по годовой выработке — 39,9 млрд кВт.ч.

27 декабря 2017 г. В 08:05 Сургутская ГРЭС-2 первой из тепловых электростанций РФ выработала 1 триллион кВт.ч электроэнергии с момента пуска.

### **Литература**

1. **Ф. Показаньев.** Сургут. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1987.
2. **П.А. Мунарев.** Так было, так начиналось (записки председателя): воспоминания о становлении Сургута в 60-х, начале 70-х гг. Сургут: ООО «Сургутская типография», 2008.
3. **Е.С. Логинова.** «Путевый» человек: Документальное повествование. Шадринск: ОГУП «Шадринский Дом Печати», 2013.

*Т.В. Криворотько, студ.;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ПЕРВЕНЕЦ РУССКОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ГЭС «БЕЛЫЙ УГОЛЬ»**

11 мая 1903 года у реки Подкумок недалеко от Эссентуков состоялась закладка здания гидроэлектростанции, а в июле она уже начала действовать. Электроэнергия вырабатывалась двумя генераторами трёхфазного тока по 400 кВт каждый, которые приводились в движение турбинами соответствующей мощности. Напряжение воздушных линий электропередач составляло 8 тысяч вольт. Сам способ утилизации водяной силы явился новостью не только на Кавказе, но и в России. Расстояние, на котором передавалась энергия, превышало 18 вёрст (19,2 км) [1].

Профессор Михаил Андреевич Шателен 26 марта 1913 года впервые в мире осуществил параллельную работу дизельной станции с гидроэлектростанцией «Белый Уголь» [1].

В годы Великой Отечественной войны, отступая, немецко-фашистские захватчики превратили ГЭС «Белый Уголь» в груды развалин. 27 сентября 1947 года ГЭС была полностью восстановлена и по акту Приёмной комиссии сдана в эксплуатацию. Это было второе её рождение [2].

В 1950 году ГЭС «Белый Уголь» одна из первых в стране осуществила параллельную работу гидрогенераторов, не имеющих автоматических регуляторов на турбинах. Это обеспечило устойчивую эффективную эксплуатацию и полное использование водотока реки Подкумок [1].

В феврале 1968 года ГЭС «Белый Уголь» посетил министр энергетики и электрификации СССР П.С. Непорожний. В книге отзывов он назвал ГЭС «Белый Уголь» первенцем русской гидроэнергетики [1].

Вплоть до 1977 года гидроэлектростанция исправно снабжала регион электричеством. Но летом 1977 года, после обильных осадков относительно небольшая горная река Подкумок, вращавшая турбины более 74 лет, вышла из берегов, поднявшись на 3,60 м, и уничтожила бассейн суточного регулирования. ГЭС была остановлена [2].

Спустя 20 лет после остановки работы было принято решение организовать в здании ГЭС музей [2].

### **Литература**

1. **Ю.А. Александров.** Первые шаги отечественной электроэнергетики. Краеведческое общество на КМВ, г. Пятигорск, 1983.
2. **Ю.А. Александров.** 80-летие пятигорского предприятия городских электросетей. Записки Краеведческого общества. Выпуск 21. г. Пятигорск, 1987.

*В.А. Дмитриюков, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В СОСТАВЕ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ**

Первая Кубанская электростанция появилась в 1890 г. на мельнице казака Волочаева в станице Федоровской. Ее мощность составляла 16 л.с. — около 12 кВт — и использовалась для освещения. Электростанция представляла собой локомобиль, работающий на пару.

В конце января 1891 года в Екатеринодаре в здании городской больницы, построенной на углу улиц Красной и Длинной, был смонтирован электрогенератор на бензине. В палатах и коридорах установили 100 лампочек накаливания конструкции Эдисона [1].

В 1893г в Новороссийске на элеваторе Владикавказской железной дороге появилась первая в России *промышленная* электростанция трехфазного переменного тока, общей мощностью 1200 кВт.

Осенью 1894 года было завершено строительство Екатеринодарской гидроэлектростанции (водоэлектростанции Зигеля). В 1910 году мощность электростанции равнялась 465 кВт, а к 1912 году — 1250 кВт.

Из-за строительства городского трамвая, в 1900 году была введена вторая по счету, трамвайная электростанция мощностью 800 кВт.

До революции электрификация на Кубани получила достаточно широкое распространение. Например, в 1908 году братья Григорий и Сергей Кургузовы пустили в ход энергетическую установку на маслозаводе в Абинске. В 1909 году в Сочи в курортном комплексе «Кавказская Ривьера», была установлена дизельная электростанция. В 1910 году динамо-машины появились на мельнице в Анапе. Не смогли остановить технического прогресса Первая мировая и гражданская войны, в далеком от фронта Темрюке в 1918 году был электрифицирован мукомольный цех.

До 1920 года на Кубани действовали 353 электростанции общей мощностью 13,7 МВт [2].

### **Литература**

1. **Энергетика Кавказского региона.** <https://rosseti-kuban.ru/media/media/АиФ%204%20-полоса%20ГД.pdf>
2. **Энергетика Кубани:** от истоков до Плана ГОЭЛРО. [https://www.ruscable.ru/news/2020/12/21/Energetika\\_Kubani\\_\\_ot\\_istokov\\_do\\_Plana\\_GOELRO/](https://www.ruscable.ru/news/2020/12/21/Energetika_Kubani__ot_istokov_do_Plana_GOELRO/)

*Д.П. Яковлев, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЧЕБОКСАРСКАЯ ГЭС — ПОСЛЕДНЯЯ НА ВОЛГЕ**

Чебоксарская ГЭС одна из градообразующих предприятий Чувашии. Общая мощность электростанции 1370 МВт. Этого хватает чтобы обеспечить электроэнергией треть Чувашской Республики. Однако ГЭС является не только крупным объектом энергетики, но и частью большой воднотранспортной артерии России.

Согласно проекту «Большая Волга», разработанным в 1931 году, предполагалось строительство восьми ГЭС на реке Волга, одной из которых была Чебоксарская ГЭС. Строительство чувашского гидроузла решало множество задач в вопросах судоходства и энергетики, но Великая Отечественная война отодвинула сроки строительства ГЭС, и только 22 января 1967 года проект гидроузла был утвержден и началось сооружение гидроэлектростанции. В течении 13 лет с 1967 по 1980 годы в три этапа продолжалось строительство, которое не обошлось без трудностей. При вскрытии котлована шлюза был обнаружен подводный оползень, в теле которого найдены бивни мамонта, что затруднило реализацию проекта в установленные сроки. Перед строителями была поставлена задача ввести в эксплуатацию ГЭС к концу 1980 года, и с этой задачей они успешно справились, 31 декабря за 10 минут до нового года первый генератор был запущен в работу. После трехсуточного испытания гидроагрегат был включен в Единую энергосистему, и Чебоксарская ГЭС дала первый ток.

В настоящее время гидроэлектростанция работает на пониженной мощности 820 МВт вместо запланированных 1370 МВт и вырабатывает в 1,6 раз меньше электроэнергии. Это связано с пониженной отметкой водохранилища — 63 метра, при проектной — 68 метров. Выход на проектную отметку был запланирован на 1987 год, однако не состоялся из-за отсутствия финансирования. В 2016 году Правительством издан указ о выходе Чебоксарской ГЭС на проектную отметку. На этом этапе встал выбор между сохранением отметки 63 м., для чего необходимо достроить объекты инженерной защиты, или поднятием отметки до 68 м., что повлечет за собой большие площади затопления (1774 жилых дома и 90 тысяч гектаров земли). Таким образом, вопрос о поднятии уровня Чебоксарского водохранилища остается открытым.

### **Литература**

1. **Егоров С.** Чебоксарская гидростанция отдельные страницы из истории строительства 1968-1981 гг. / С. Егоров. — Новочебоксарск: Чувашское книжное издательство, 2020. — 83 с.
2. **Орехов В.Ф.** Проблемы чебоксарского водохранилища «Проект 68» — прыжок с разбега на гигантские грабли / В.Ф. Орехов, А.Н. Краснов // Астраханский вестник экологического образования. — 2013. — № 3(25) — С. 170–184.
3. [http://www.cheges.rushydro.ru/press/otmetka\\_68](http://www.cheges.rushydro.ru/press/otmetka_68)

*В.А. Дмитриюков, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ В СОСТАВЕ СССР**

1 мая 1930 г. — вступила в работу Новороссийская ГРЭС мощностью 22 тыс. кВт, работающая на парафинистом мазуте.

1 мая 1931 г. — вступила в работу Краснодарская ГРЭС мощностью 11 тыс. кВт, которая будет работать параллельно с Новороссийской ГРЭС. [1]

В 1927 году вошла в строй дизельная электростанция в Майкопе мощностью 540 киловатт. После модернизации в 1940 г. её мощность составила 800 кВт.

К 1940 году суммарная мощность электростанций Кубани достигла 100 МВт, из них государственных только 35 МВт, а выработка электроэнергии за 1940 год составила 394 млн. кВт.ч.

В 1943 году на КРЭС1 (Краснодар) был смонтирован и включен в работу турбогенератор № 1 мощностью 5 МВт. В 1946 году был запущен турбогенератор № 2 мощностью 5 МВт. В последствии эта электростанция станет самой мощной во своем регионе. До установки второго энергоблока в городе остро не хватало электроэнергии, в помощь КРЭС1 был направлен энергопоезд компании General Electric мощностью 3 МВт.

14 марта 1944 г. № 66 было организовано Краснодарское районное энергетическое управление «Краснодарэнерго».

В июне 1949 г. введена в эксплуатацию Краснополянская ГЭС на р. Мзымта для энергоснабжения Сочинского района. Ее мощность достигает 28,9 МВт.

В 1935 г. пустили в эксплуатацию первую подстанцию 35 кВ в г. Краснодаре.

В 1954 г. стартовала Белореченская ГЭС мощностью 48 МВт. Она станет самой мощной ГЭС Краснодарского края.

В 1972 году впервые в СССР на Краснодарской ТЭЦ была установлена газотурбинная установка (ГТУ) мощностью 100 МВт, а в 1975 году вторая ГТУ-100. Общая мощность ТЭЦ составила 959 МВт. [2]

Также в середине XX века активно строились межсистемные соединения ЛЭП: в 1957 г. Было произведено объединение с Грузинской энергосистемой, в 1958 г. — со Ставропольской, а в 1964 г. — с Ростовской, тем самым Краснодарская энергосистема перестала быть изолированной.

### **Литература**

1. Копии исторических материалов. <https://istmat.org/node/32865>
2. Энергетика Кубани. <https://rosseti-kuban.ru/o-kompanii/istoriya-razvitiya>



*Н.О. Ключко, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»*

## **ПЕРЕНОСНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ ГАММА-ТОЛЩИНОМЕТР «ТОР-1»**

С целью расширения производства продукции ядерного приборостроения Постановлением Совета Министров СССР в 1968 году были определены основные направления развития Главатомприбора Министерства среднего машиностроения СССР и было запланировано строительство четырех новых приборных заводов. Так и был построен Приборный завод «Сигнал» в г. Обнинске, чьим первым произведенным прибором является ТОР-1.

ТОР-1 предназначен для измерения толщины стальных листов, стенок труб и различных емкостей при наличии одностороннего доступа к контролируемому объекту. Принцип действия основан на зависимости обратно рассеянного гамма-излучения от толщины объекта измерения. Источником излучения служит изотоп  $\text{Co}_{60}$  активностью около 60 мккюри, помещенный в вершине пирамиды из вольфрамового сплава, установленной в головке датчика. В качестве детектора обратно рассеянного излучения применяется сцинтилляционный кристалл [1].

Как только завод был построен, Министерство ставит задачу о начале выпуска первых радиоизотопных приборов с января 1972 года.

Обстановка на заводе, во время изготовления ТОР-1, была беспокойной. Ежедневно в механическом цеху собирался весь руководящий персонал завода. Каждый решил свои задачи и двигали процесс «рождения первого ребенка». Вопросов было очень много и по конструктивным решениям, и по технологии изготовления.

Производство только запускалось, и на многие операции технологической оснастки еще не успели изготовить. Для некоторых процессов приходилось придумывать другой процесс изготовления из подручных средств с помощью рабочей смекалки.

К сожалению, завод не успел сделать ТОР-1 к январю, но уже в начале апреля пять комплектов приборов были полностью изготовлены и поступили специалистам на настройку.

### **Литература**

1. **Казнаков В.П., Крейндли И.И., Скобло Ю.А., Хахалин В.В.** Переносный отражательный гамма-толщинометр ТОР-1: Атомная энергия, 1969.

*Н.В. Резников, А.А. Степанов, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ОГНЕДЕЙСТВУЮЩАЯ МАШИНА ИВАНА ПОЛЗУНОВА**

Иван Ползунов родился 14 марта 1728 года в Екатеринбурге. Иван обучался арифметике и словесности в Горнозаводской школе, был определён учеником к главному механику уральских заводов, а затем, через пару лет, был отобран в группу специалистов для царских заводов.

Основным источником механической энергии для больших заводских установок во времена Ползунова была вода. Поэтому заводы строились большей частью на реках. Чтобы освободить заводы от привязанности к воде и удешевить производство, Ползунов предложил заменить «водяное руководство» огнедействующими машинами.

В 1763 году Ползунов представил начальнику Кольванских заводов описание и чертеж опытной машины собственной оригинальной конструкции. Машина Ползунова состояла из котла, пароатмосферной машины, насосов и труб для снабжения установки водой, а также был передаточный механизм, чтобы приводить машину в действие.

Строительство началось в 1764 году в Барнауле. Во время работы Ползунову приходилось выступать одновременно в роли проектировщика, конструктора, технолога и строителя. К 7 декабря 1764 года сборка была закончена. В течении 43 дней она исправно работала. Однако, возникавшие при испытаниях недочеты некому было исправлять. Есть несколько причин того, почему после смерти Ползунова его машина работала очень недолго. Во-первых, машина получилась громоздкой. Во-вторых, она была неэкономичной. Равнодушное начальство не позаботилось о починке машины и в дальнейшем по предписанию управителей алтайских заводов машина была разобрана и заменена на обычный гидравлический привод.

Иван Иванович Ползунов был вознагражден за создание «огненной машины к раздуванию огня годной». Уроженец мещанского за свои заслуги был произведен в инженер-капитан-поручики.

### **Литература**

1. **В.В. Данилевский.** Русская техника; Ленинградское газетно-журнальное и книжное издательство, 1947.
2. **Конфедератов, И.Я.** Универсальный паровой двигатель — великое русское изобретение; М.: Знание, 1951.

*А.И. Коновалова, А.А. Барбашин, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ УСПЕХА. БЛОК ГРАФИТОВЫЙ ДЛЯ ПЕРВОЙ СОВЕТСКОЙ ЯДЕРНОЙ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

Благодаря усилиям ученых в 1946 году впервые в СССР и на континенте Евразия был построен ядерный реактор Ф-1 под руководством Игоря Васильевича Курчатова.

Для реактора потребовалось 400 т графита и 48 т урана. Реактор собирали слоями и 25 декабря 1946 г. был собран последний, 62-й слой. После извлечения аварийных стержней был произведен подъем регулирующего стержня, начался отсчет плотности нейтронов, и в этот же день заработал первый в СССР реактор. А через полтора года, 10 июня 1948 г., промышленный реактор достиг критического состояния и вскоре началось промышленное производство нового вида ядерного горючего — плутония. С 1946 года на реакторе Ф-1 проводились фундаментальные исследования в области ядерной физики, радиационной безопасности и метрологии нейтронного излучения. С 1976 года реактор Ф-1 — вторичный эталон единицы плотности потока тепловых нейтронов. Таким образом, создание реактора стало одним из главных достижений Атомного проекта СССР.

Ф-1 располагался в здании на территории Лаборатории № 2 Академии наук СССР. Сейчас это Курчатовский институт — он назван в честь физика Игоря Курчатова, который руководил научной частью советского атомного проекта. Первый советский реактор прекратил свою работу не так давно — в 2012 году. С 2016 году в реакторном здании открыт музей. С макетом Ф-1 можно познакомиться в политехническом музее.

### **Литература**

1. 70 лет атомной отрасли. Цепная реакция успеха: Каталог выставки: / Сост. — М.: Частное учреждение «Историко-культурный центр» Госкорпорации «Росатом», 2015. — 108 с.

*И.М. Мастеренко; А.А. Щедрин, студ.;  
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **ТУРБИНА ЛАВАЛЯ**

2 апреля 1883 года, Густавом де Лавалем был взят английский патент № 1622, на турбину, «работающую паром или водой», это был первый патент Лавалья в области, принесшей ему мировую известность. Именно эта работа шведского изобретателя во много определила вид современной теплоэнергетики.

Принцип действия паровой турбины Лавалья: пар, разогретый до высокой температуры, поступал из котла по паровой трубе к соплам, расположенным под острым углом, и подавался на лопатки насаженные на диск, таким образом заключенная в паре энергия передавалась лопастям турбины, диск крутился, приводя в движение вал, который передавал вращательное движение. Лаваль в своих турбинах использовал ряд интересных конструкторских решений, некоторые из которых были изобретены специально для реализации «скоростной серии».

Главную особенность турбины Лавалья представляет вал, который делается гибким, так как, невозможно совместить центр тяжести оси и вала, что в случае применения обычного «твёрдого» вала будет приводить к его неминуемому поломкам. Редуктор с соотношением примерно 1:10 что позволял снизить скорость вращения. Эта необходимость была вызвана тем, что в турбине Лавалья не происходит падения давления и скорости, ввиду отсутствия ступеней давления и ступеней скорости, что приводило к огромному числу оборотов от 20 до 40 тысяч оборотов в минуту. «Сопла Лавалья» представляют собой газовый канал, имеющий форму асимметричных песочный часов. В соплах пар расширялся до атмосферного давления, благодаря увеличению объема, сопровождающему это расширение, получалось значительное увеличение скорости вытекания пара. «Сопла Лавалья» и по сей день активно применяются в авиа и ракетостроении. Эти изобретения так же актуальны и в наши дни.

В дальнейшем к делу Лавалья приложили руку такие изобретатели как Чарльз-Гордон Кертис, Огюст Рато, Генрих Цилле. Эти люди создали один из самых важных двигателей современности.

### **Литература**

1. **Радциг А.А.** Развитие паровой турбины; Ленинград: Изд. и тип. Изд-ва Акад. наук СССР; 1934.
2. **Аптекарев М.А.** Паровые двигатели; Ленинград: Гос. изд-во (Л.: тип. им. Н. Бухарина); 1928.
3. **Гумелевский Л.И.** Жизнь замечательных людей: Густав Лаваль; М.: Издательство Журнально-Газетное объединение, 1936.

*Т.В. Криворотько, Е.Е. Точёная, студ.;*  
*рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **МАШИНА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ С КОЛЬЦОМ ГРАММА. СОБЫТИЕ, ДАВШЕЕ НАЧАЛО ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

В 1867 г. почти одновременно в нескольких странах был установлен принцип самовозбуждения. Объединение принципа самовозбуждения с конструкцией кольцевого якоря явилось событием, положившим революцию в развитии электрической машины и давшим начало промышленной электротехнике.

В июне 1870 года Грамм получил патент, в котором содержалось описание самовозбуждающегося генератора с кольцевым якорем. На гладкий железный кольцеобразный сердечник наматывалась замкнутая сама на себя обмотка. От равноудаленных точек этой обмотки шли отпайки к коллекторным пластинам

Конструкция магнитоэлектрической машины: на станине укреплены электромагниты с полюсными наконечниками, между которыми вращается якорь; в специальных держателях укреплены щётки, соприкасающиеся с почти современного типа коллектором. Якорь приводится во вращение через приводной шкив. Обмотка возбуждения включена последовательно. Генератор Грамма явился экономичным источником энергии с высоким КПД, благодаря чему в 70-х годах 19 века быстро вытеснил другие типы машин.

В конце 19 века последовали усовершенствования прибора. Произошла замена коллектора двумя кольцами, по которым скользили пружины. Таким образом, машину, которая изначально работала на постоянном токе перевели на переменный.

Внедрение генератора Грамма в серийное производство помогло в значительной степени ускорить применение электрической энергии в промышленности.

### **Литература**

1. **Веселовский О.Н.** Очерки по истории электротехники. Учебное издание. М.: Издательство МЭИ, 1993.
2. **Под ред. И.А. Глебова;** История электротехники. Учебное издание. М.: Издательство МЭИ, 1999.

Л.В. Шавалиева, студ.;  
рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## О ПОИСКЕ ДАТЫ ОСНОВАНИЯ КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЭИ



Рис. 1. Приказ МЭИ от 15 апреля 1931 г. об установлении в МЭИ кафедр



Рис. 2. Значок 50 лет кафедре «Электрические системы», 1982 г.

В связи с 90-летием кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ» возник вопрос о дате основания кафедры. Какой день 1932 года считать датой основания кафедры?

За информацией обратились к архивам. Но в Центральном архиве было найдено более раннее упоминание о кафедре: в приказе МЭИ от 15 апреля 1931 года (рис. 1) об установлении в МЭИ кафедр и назначении заведующих кафедрами значилась и кафедра электрических сетей. Также в данном приказе говорится, что он отменяет ранее изданные приказы по МЭИ об организации кафедр, а значит кафедра могла быть создана раньше. Так как ранее изданные приказы по МЭИ об организации кафедр не найдены, то дата основания кафедры осталась неизвестной.

Кроме того, традиционно годом основания кафедры считается 1932 (рис. 2). В чем же причина? Скорее всего, это связано с вышедшим 10 сентября 1932 г. Постановлением ЦИК СССР «Об учебных программах и режиме в высшей школе и техникумах», который существенно изменил структуру высших учебных заведений в СССР. Были созданы факультеты, и кафедры перешли из ведения специальностей в ведение факультетов. Коренным образом изменился подход к обучению. Произошла существенная трансформация кафедр.

Таким образом, с учетом имеющихся данных, дата основания не выяснена, но есть понимание, что в 1932 году кафедра создавалась не с нуля, а уже существовала, но в ней произошли существенные преобразования.

### Литература

1. Постановление ЦИК СССР от 10.09.1932 «Об учебных программах и режиме в высшей школе и техникумах».
2. Приказ № 63 по Московскому энергетическому институту от 15.04.1931 г. <http://kafedra-ees.ru/История-кафедры/>

*Е.Д. Щиголь, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЕНТИЛЬ КРЕМНИЕВЫЙ ДИФFUЗИОННЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ «ВКДЧ-25»**

Работа подавляющего большинства радиотехнических устройств не представляется возможной с использованием переменного тока. Поэтому внутри них находится прибор, обладающий односторонней проводимостью, который называется «вентиль». Он пропускает ток только в прямом направлении и не пропускает в обратном.

Для изготовления полупроводниковых вентилях практическое применение находят германий и кремний, хотя раньше также использовался селен. Сейчас выпрямители делают в основном из кремния, так как он имеет высокую рабочую температуру и большое номинальное напряжение [1].

Первыми вентилями, изготовленными с применением диффузионной технологии, были вентили ВКД-200. Они появились в 1966 году и вскоре уступили место улучшенным аналогам — ВК2-50, которые по сравнению с вентилями старой конструкции (ВК) имели увеличенное обратное напряжение, простую конструкцию, а расход материала сократился вдвое.

Вентили ВКДЧ-25 предназначались для генераторов мощностью 750...1200 Вт и имели в конструкции паяный контакт. Они послужили прототипом для следующего поколения устройств этого типа — В4-25. Новые выпрямители имели уже прижимной контакт и до сих пор активно используются в бортовых системах электроснабжения военных самолётов и вертолётов. Одно из основных отличий между ними в том, что вентили В4-25 сохраняют работоспособность при воздействии центробежных ускорений до 8000 g [2].

Экспонат изготовлен на Саранском заводе «Электровыпрямитель» и передан Политехническому музею в 1968 году в двух экземплярах А.Д. Булкиным — директором МНИЭИ им. Огарёва и лауреатом Ленинской премии. В те годы вентили ВКДЧ-25 произвели небольшой партией по заказу Саранского тракторного завода, а два прибора, которые позже передали в Политехнический музей, сняли непосредственно со станка.

### **Литература**

1. **В.З. Слущкий, Б.И. Фогельсон, В.Г. Левичев, Я.В. Степук** Основы радиотехники и радиолокации. Индикаторы, выпрямители и полупроводниковые приборы; Москва: Воениздат, 1961 год.
2. «Электровыпрямитель 60», История ОАО «Электровыпрямитель» в фактах, лицах, событиях, 1941–2001 годы.

**Секция 55**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**  
**Electric power stations**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Монаков Юрий Викторович*

*Секретарь секции: Посохов Николай Олегович*



*М.У. Магомедов, асп.; рук. В.В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **АЛГОРИТМ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ЭНЕРГОБЛОКАМИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

Разработана методика повышения надёжности и живучести ТЭЦ с энергоблоками парогазовых установок (ПГУ), которая предусматривает решение следующих задач:

1. Оценка возможности автоматического выделения энергоблока ПГУ для питания потребителей собственных нужд (СН) ТЭЦ при аварии в энергосистеме (АВСН).
2. Разработка технических решений по схемам питания потребителей СН ТЭЦ во время аварии и при пуске после аварийного останова.
3. Определение допустимых значений нагрузки на ТСН и РТСН.
4. Оценка уровня тока КЗ на магистрали резервного питания СН ТЭЦ и самозапуска электродвигателей СН в режиме АВСН.
5. Экспериментальная проверка возможности сброса и удержания нагрузки газовой турбиной ПГУ в режиме АВСН.

Реализация режима АВСН по разработанной методике была выполнена на блоке ПГУ-450Т на двух действующих электростанциях: ТЭЦ-1, состоящей из двух блоков ПГУ-450Т; ТЭЦ-2, мощностью 1060 МВт, включающей два блока ПГУ-450Т и два паросиловых блока мощностью по 80 МВт каждый.

В режиме АВСН, в схемах, рассмотренных ТЭЦ, питание потребителей СН осуществлялось следующими способами: — от ТСН выделенной ГТ по резервной магистрали, — от РТСН по резервной магистрали, через РУ — 220 кВ посредством блочного трансформатора. Для всех схем выполнены расчеты токов КЗ и последующего самозапуска электродвигателей СН. Наиболее надежной оказалась схема рабочего питания от ТСН. Проведены испытания блоков ПГУ по сбросам нагрузки до мощности собственных нужд и холостого хода. Результаты расчетных и экспериментальных исследований показали, что режим АВСН является эффективным способом повышения надежности и живучести ТЭЦ при условии выполнения всех требований по его реализации [1].

### **Литература**

1. **Жуков В.В., Евсюков И.А., М.У. Магомедов** Автоматическое выделение энергоблока ПГУ для питания собственных нужд ТЭС при аварии в энергосистеме, Энергетик 2022 № 6, с. 3–9, Москва.

*В.Д. Битней, студ.; А.А. Тимофеев, асп.;  
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТУРБОГЕНЕРАТОРЕ В РЕЖИМЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Избыток реактивной мощности в энергосистеме г. Москвы и Московской области приводит к увеличению напряжения, что влечет за собой снижение надежности работы и повышение аварийности электрооборудования потребителей [1]. В связи с чем генерирующие компании переводят турбогенераторы в режим потребления реактивной мощности, что приводит к повышению аварийности генерирующего оборудования (в том числе — из-за роста нагрева активных частей электроустановок, вызванного увеличением потребляемого тока по сравнению с номинальным, и, как следствие, ускорения процессов старения и износа изоляции).

Реализация численного анализа тепловых процессов в турбогенераторе представляет сложную задачу для существующих программных вычислительных комплексов, особенно в условиях импортозамещения. В связи с чем целью данного исследования была принята задача по обоснованию выбора программного комплекса для численного моделирования тепловых процессов в турбогенераторе в режиме потребления реактивной мощности.

Были проанализированы программные комплексы ELCUT [2] (проведение анализа физических полей и получение решений связанных multidisciplinary задач, в особенности задачи по анализу стационарного и нестационарного температурного поля) и COMSOL Multiphysics (расчёт напряженно-деформированного состояния твердых тел, численный анализ гидродинамических, теплообменных и химических процессов).

В ходе анализа для решения основной задачи исследования по разработке имитационной модели теплового режима работы турбогенератора был выбран программный комплекс ELCUT.

### **Литература**

1. «Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2020–2025 годы». Распоряжение Мэра Москвы № 292-PM от 30 апреля 2020 года.
2. **Описание программы ELCUT.** — URL: [https://elcut.ru/feat\\_r.htm](https://elcut.ru/feat_r.htm) (Дата обращения 01.11.2022 г.).

*В.Д. Битней, В.Ю. Ульянов, Е.А. Зализная, студ.;*  
*А.В. Охлопков, соиск.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ)»*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МАСЛА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Маслонаполненное оборудование составляет значительную долю парка трансформаторных устройств. В настоящее время доля маслонаполненных трансформаторов (ТР) в энергосистеме РФ превышает 70% [1].

Одним из способов диагностики состояния оборудования является газохроматографический анализ трансформаторного масла (ГХА). Во время работы ТР в масле образуются водород, окись и двуокись углерода, а также углеводородные соединения: метан, этан, этилен, ацетилен. Изменение концентрации вышеперечисленных газов является индикатором дефектов, развивающихся в активной части трансформатора. Своевременное устранение выявленных дефектов позволяет предотвратить аварийный отказ оборудования.

Целью исследования являлась оценка эффективности методов интерпретации результатов ГХА.

Для интерпретирования полученных в результате ГХА концентраций растворенных диагностических газов применяется ряд методик [2], различных по критериям оценки и наборам необходимых исходных данных.

В статье рассмотрены наиболее распространенные методики, используемые для анализа газовых включений в масле: соотношения Роджерса, метод по стандарту МЭК 60599, соотношения Дорненбурга, треугольник Дюваля, метод ЕТРА, методика по РД 153-34.0-46.302-00. В работе приводится краткое описание данных методик и их практическое применение для интерпретации результатов ГХА реальных силовых трансформаторов. По выявленным неисправностям могут быть сформулированы выводы относительно состояния объектов.

### **Литература**

1. **Святых А.Б.** Развитие акустических способов контроля технического состояния жидкой изоляции маслонаполненных трансформаторов // *Электротехнические системы и комплексы*, № 1 (26), С. 22–25, 2015.
2. **Алексеев В.Г., Несвижский Е.И.** Выбор оптимальных значений критериев при диагностике состояния силовых трансформаторов по результатам анализа растворенных в масле газов // *Электрические станции*, № 1, 1991.

*А.В. Шумилов, студ.; рук. В.В. Жуков д.т.н., проф. (НИУ “МЭИ”)*

## **АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА С АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ И ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Разработан алгоритм электрической части энергоблоков энергокомплекса. Алгоритм состоит из следующих этапов проведения исследований по обоснованию варианта энергоснабжения потребителя, включающих:

1. Определение требуемой мощности для предприятия или региона;
2. Определение структуры энергокомплекса: выбор типа и установленной мощности реактора и турбогенератора энергоблоков атомной станции малой мощности, типа и мощности газовой и паровой турбины, и турбогенераторов ГТУ и ПТУ;
3. Разработка схем выдачи мощности электростанциями энергокомплекса, сравнение вариантов схем, различающихся с позиции надёжности и приведённых затрат;
4. Определение мощности трансформаторов и схем электроснабжения потребителей собственных нужд электростанций энергокомплекса;
5. Расчёт токов КЗ по узлам различного напряжения в схеме энергокомплекса и в системе электроснабжения потребителя до и после подключения энергокомплекса [2];
6. Координация уровней токов КЗ в новой системе электроснабжения, выбор электротехнического оборудования;
7. Определение способа пуска агрегатов ГТУ, обеспечение живучести электростанций.

Реализация энергокомплекса по разработанной методике была выполнена с использованием двух реакторов РИТМ-200Н [1], мощностью по 55 МВт каждый и двумя ГТУ-25П мощность по 25 МВт. Результаты расчетных исследований показали, что такая система может быть применена для любых климатических районов и под разные задачи, от поставщика электроэнергии жилому сектору, до питания газоперерабатывающих заводов на Крайнем Севере.

### **Литература**

1. **А.В. Зродников, Г. И. Тошинский** Модульные реакторы малой мощности для большой атомной энергетики / Атомная стратегия № 16, 2005.
2. **В.В. Жуков** Электрическая часть электростанций с газотурбинными и парогазовыми установками: учебное пособие для вузов / В.В. Жуков. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

*А.А. Иванов, С.Ю. Грошовик, С.А. Щербаков, студ.;  
рук. А. Лхамдондог, к.т.н. («НИУ МЭИ», Москва)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ SIMINTECH ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ**

Эксплуатация и модернизация существующих подстанций (ПС), а также строительство новых с учетом внедрения современных технологий и оборудования требует применения соответствующих расчетов [1].

Проводить необходимые расчеты вручную — это трудоемкий процесс, а физические лабораторные стенды не всегда доступны и имеют ограничения. Моделирование ПС с последующими расчетами нормальных и послеаварийных режимов для выбора коммутационного и измерительного оборудования, схем распределительных устройств (РУ), расчетов токов коротких замыканий и методов их ограничения на ПС позволит спрогнозировать поведение и работу электроустановок [2].

Создание расчетных моделей отдельных ПС вместе с базой данных современного оборудования с дальнейшим расчетом режимов работы в пределах допустимой погрешности в настоящий момент доступно в программе отечественного производства SimInTech [3]. Платформа имеет широкий функционал, удобный интерфейс и возможность решать мультидисциплинарные задачи.

Правильный расчет на этапе проектирования и реконструкции ПС обеспечит бесперебойное электроснабжение потребителей при аварийных ситуациях, таких как короткие замыкания, выход из строя одного из трансформаторов или выключателей, позволит повысить надежность передачи электроэнергии потребителям всех категорий.

### **Литература**

1. Цифровизация сети: теория и практика группы компаний «РОССЕТИ». Электроэнергия. Передача и распределение. 2018 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://eepir.ru/new/cifrovizaciya-seti-teoriya-i-praktika-gruppy-kompaniy-rosseti/?search>. (Дата обращения 05.11.2022).
2. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. «Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов — 3-е изд., стереот. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 288 с., ил.»
3. Карташов Б.А., Шабаетов Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. «Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 424 с.»

*А.А. Гаврилов, Г.О. Голобокова, А.О. Мясников, студенты;  
рук. А. Лхамдондог, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH**

Применение современных компьютерных средств позволяет в короткий промежуток времени определить различные параметры энергосистемы и их изменения в зависимости от режима ее работы. Натурные эксперименты не всегда доступны студентам во время учебного процесса, также отдельные переходные процессы не представляются возможным изучить при испытаниях на реальных лабораторных установках [1].

Возникновение переходных процессов в электрических системах обусловлены как нормальными, так и аварийными режимами работы. Исследование причин и воздействия таких процессов на режимы работы поможет предотвратить негативные последствия, повысить уровень безопасности и надежности работы системы.

Проведенные расчеты режимов работы простейших участков сети с последующим возникновением различных видов коротких замыканий показали удобство в применении и выводе необходимых величин в графическом виде технической среды моделирования SimInTech [2]. Результаты расчетов токов короткого замыкания позволяют сравнить ручные расчеты с полученными в ходе моделирования в программе SimInTech с погрешностью менее 10%.

В перспективе возможно использование данной платформы в учебной программе студентов, обучающихся по курсу «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» для проведения лабораторных работ, курсового проектирования и моделирования энергетических объектов, как в очном, так и дистанционном формате.

### **Литература**

1. **Крючков И.П., Старшинов В.А., Гусев Ю.П., Пираторов М.В.** Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Введение в работу с программным обеспечением. Среда динамического моделирования технических систем «SimInTech». — ООО «3В Сервис», 2020.

С.А. Зализный, Е.А. Зализная, студ. ;  
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ АНЦАПФЫ ДГР ПРИ НАСТРОЙКЕ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОГО ТОКА**

В электрических сетях с изолированной нейтралью напряжением 6–35 кВ существует проблема ускоренного накопления дефектов в изоляции кабельной сети, вызываемых продолжительным (до 2 часов) удержанием однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) без его отключения, при этом на рабочую изоляцию электрооборудования воздействуют перенапряжения кратностью до  $3,2 U_{ном}$  [1]. Снижение кратности перенапряжений обеспечивается точной компенсацией емкостных токов ОЗЗ индуктивными токами дугогасящих реакторов (ДГР) [2]. При изменении схемы электрической сети изменяется её суммарная фазная ёмкость и требуется заново настраивать ДГР на точную компенсацию токов ОЗЗ. Зачастую в реальных условиях эксплуатации ДГР вообще функционируют без регулирования степени компенсации ОЗЗ под каждую ремонтную схему сети, что утяжеляет фактические условия работы кабельных линий вследствие увеличения уровня аварийных перенапряжений.

Несмотря на тенденцию ввода современных плавно регулируемых ДГР, на значительной части подстанций эксплуатируются реакторы со ступенчатым регулированием тока компенсации при ОЗЗ, в частности ДГР типа «ЗРОМ». Для таких ДГР изменение тока компенсации осуществляется обслуживающим персоналом вручную путем переключения ответвлений обмотки ДГР.

В данной работе рассмотрена задача настройки ДГР типа «ЗРОМ» для достижения наилучшей степени компенсации ОЗЗ. На основе схемы расстановки ДГР на открытом распределительном устройстве (ОРУ) 35кВ опытной электростанции выполнена разработка программного комплекса на языке *Delphi*, позволяющая персоналу оперативно определять ток компенсации ОЗЗ и необходимое положение анцапфы в соответствии с текущей схемой электрических сетей. Учитывается возможность группировки и отключения реакторов. Программа рассчитывает требуемое положения анцапфы ДГР исходя из емкостных токов присоединений ОРУ и производит оценку перекомпенсации.

### **Литература**

1. **Кадомская К.П.** Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
2. **РД 34.20.179** «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6–35 кВ».

*А.А. Краевой, аспирант;  
рук. В.В. Жуков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

В большинстве развитых стран мира для выработки электроэнергии все шире используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), доля которых в ряде стран достигла свыше 20%.

Внедрение в энергосистему ветряных и солнечных электростанций, особенно за счет вывода из эксплуатации тепловых электростанций, приводит к снижению кинетической энергии вращающихся масс — роторов турбин и генераторов, и в значительной мере ухудшает ее статическую и динамическую устойчивость [1].

По данным ВНИИЭ, динамическая устойчивость блоков 100–1200 МВт, работающих с номинальной нагрузкой и  $\cos\varphi=0,8-0,9$  при запасе по статической устойчивости  $K_{\text{зп}}=1,2$ , и двухфазном КЗ на землю продолжительностью 0,12 с обеспечивается при максимально допустимом значении внешнего сопротивления  $X_{\text{вн,доп}} \leq 0,21-1,26$  [2].

Учитывая, что основным источником энергии в распределительных сетях являются турбо и гидрогенераторы малой мощности от 6 до 25 МВт, на основе их параметров впервые были получены интервалы средневзвешенных значений  $X_{\text{вн,доп}} \leq 0,13-0,32$  и  $S_{\text{кз}} \leq 8,76-21,90$  МВА. Данные параметры предлагаются для оценки статической и динамической устойчивости при внедрении ВИЭ в распределительных сетях и автономных энергокомплексах.

Существенное снижение мощности или уровня токов КЗ недопустимо также для узлов двигательной нагрузки, так как при этом не обеспечиваются условия самозапуска электродвигателей. Таким образом, условия статической, динамической и результирующей устойчивости элементов энергосистем лимитирует верхний предел токоограничения или нижний уровень токов КЗ в сети.

### **Литература**

1. Шакарян Ю.Г., Лазарев Г.Б., Сокур П.В., Деменьев Ю.А. Обеспечение нормированной мощности короткого замыкания — ключ к решению проблемы недовольственного качества электроэнергии при слабых связях потребителей с энергосистемой // Инновационные технологии: 2019 Энергетик № 5.
2. Дьяков А.Ф., Жуков В.В., Козлов Б.Б. Система повышения надежности и живучести ЕЭС России. М. МЭИ, 1996.



*А.И. Коновалова, В.Д. Битней, А.А. Тимофеев,  
А.А. Барбашин, студ.; рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПО РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА УРОВЕНЬ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

В энергосистеме Москвы существует избыток реактивной мощности. Причиной избытка является снижение уровня промышленного производства, при этом указанная ситуация усугубляется вводом в работу новых кабельных линий, а также переводом воздушных участков линий электропередач в кабельное исполнение. Для компенсации избытка производится перевод генератора в режим глубокого потребления реактивной мощности.

Целью данного исследования является анализ влияния генератора в режиме глубокого потребления реактивной мощности при коротком замыкании (КЗ) на чувствительность релейных защит (РЗ).

Для анализа был рассмотрен генератор типа ТВВ-500-2ЕУЗ, используемый на современных электростанциях, в том числе в составе парогазовых установок. Мощность турбогенератора составляет 500 МВт, номинальное значение напряжения Уном — 20 кВ, а сверхпереходное сопротивление генератора  $X_d''$  — 0,242. Расчеты производились вручную при различных значениях  $\cos(\varphi)$  в диапазоне от -0,7 до -0,9 и от 0,7 до 0,9 с шагом 0,05.

На основании результатов проведенных расчетов можно сделать вывод, что генератор в режиме глубокого потребления реактивной мощности снижает уровень тока КЗ, так как генератор переходит в шунтирующий режим, обеспечивающий уменьшение потерь, нивелирование колебаний напряжения до минимально возможных значений и компенсацию реактивной мощности. В этом режиме генератор будет оказывать незначительное влияние на уровень тока КЗ при работе в номинальном режиме выдачи реактивной мощности, что приводит к снижению чувствительности РЗ.

### **Литература**

1. **Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.** Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатом-издат, 1989. — 608 с.: ил.
2. **ГОСТ Р 52735-2007** — Короткие замыкания в электроустановках.

*А.В. Мурзинцев, асп.; Н.В. Шутенко, студ.;  
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ



Рис. 1. Модель исследуемой сети

Пуск асинхронных двигателей большой мощности вызывает значительное снижение напряжения на питающих шинах. При расчетах в условиях изолированных энергосистем, в которых мощность нагрузки сравнима с мощностью источника, нельзя пренебрегать инерцией генераторов и изменением частоты их вращения во время пуска.

Целью исследования является рассмотрение эффекта от применения частотно-зависимых моделей машин при прямом пуске асинхронных двигателей. Для проведения исследования в программном комплексе ETAP была создана экспериментальная модель сети (рис. 1). В ходе моделирования применялись частотно-независимая (ЧНМ) и частотно-зависимая (ЧЗМ) модели элементов сети.

В результате проведенных опытов было установлено, что тип используемой модели оказывает прямое влияние на результат симуляции (рис. 2).

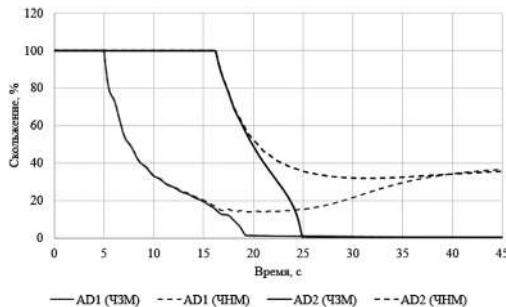


Рис. 2. Скольжение асинхронных двигателей по результатам эксперимента

### Литература

1. F. Milano and Á.O. Manjavacas, "Frequency-Dependent Model for Transient Stability Analysis," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 34, no. 1, pp. 806–809, Jan. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2871639.

*М.М. Киприянова, асп.; рук. А.П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Магнитная система силового трансформатора состоит из пакетов листов активной стали, ярмовых балок, стяжных шпилек или бандажей, ярмовых брусьев [1]. Характерными дефектами являются появление короткозамкнутых контуров, снижение уровня изоляции, а также ухудшение свойств магнитной стали. Основными диагностическими методами считают хроматографический анализ растворенных в масле газов, измерение и локация электроразрядной активности, тепловидение, метод низковольтных импульсов.

В ходе исследования проведен сравнительный анализ результатов комплексных диагностических обследований, а также капитальных ремонтов более ста трансформаторов. При развитии короткозамкнутых контуров, вызванных потерей изоляции элементов магнитной системы, наблюдается рост концентрации одного или нескольких углеводородных газов [2], рост потерь холостого хода, а также появление зон температурных нагревов. При наличии неустойчивых замыканий возникают искровые разряды, что сопровождается появлением ацетилена (как правило, в незначительных концентрациях) и фиксируется электроразрядной активностью в масле. Снижение уровня межлистовой изоляции в ряде случаев приводит к местным перегревам магнитопровода, сопровождающиеся появлением углеводородных газов. В ряде случаев имели место деформации магнитопровода, которые достаточно эффективно определяются методом низковольтных импульсов (FRA). Деформации магнитопровода выявляются по отличиям частотной характеристики при сравнении с исходной номограммой. В работе рассчитаны вероятности появления характерных признаков дефектов и оценен достоверный интервал с достоверностью 0,9.

В результате исследования получены статистические данные, позволяющие в дальнейшем построить образы характерных дефектов магнитной системы.

### **Литература**

1. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию силовых трансформаторов. — М.: ИПКгосслужбы, 2008. — 852 с.
2. **СТО 34.01-23-003-2019.** Методические указания по техническому диагностированию развивающихся дефектов маслонаполненного высоковольтного электрооборудования по результатам анализа газов, растворенных в минеральном трансформаторном масле. М.: ПАО «Россети», 2019.

*М.Х. Лахлах асп.; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОДЗЕМНЫХ СЕТЕЙ В МОДАЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ**

Для передачи электроэнергии в крупных городах России применяются высоковольтные кабельные линии. Неотъемлемым элементом любой кабельной линии является кабельная арматура — соединительные, концевые муфты. Муфты представляют собой неоднородность для распространения перенапряжений по кабельным линиям. Это приводит к образованию повышенных перенапряжений в местах установки соединительных или концевых муфт, что может приводить к их отказам. Безопасная и надежная эксплуатация кабельных линий требует анализа переходных процессов в них при коммутационных перенапряжениях [1]. Расчет частотно-зависимых параметров кабеля необходим для моделирования переходных процессов в электрических системах. Модели распространения волн можно в основном разделить на две категории: модели с распределенными параметрами и модели с сосредоточенными параметрами. Параметры на единицу длины, а также постоянная распространения, скорость распространения и волновое сопротивление определяются из телеграфных уравнений. Решение телеграфных уравнений возможно путем диагонализации с использованием матриц модально-фазного преобразования напряжения и тока, столбцы которых относятся к собственным векторам системы. Это преобразование позволяет сделать электромагнитную декомпозицию между жилами и оболочками кабельных линий [2].

Результатом исследования является разработанная частотно-зависимая модель кабеля для расчетов переходных процессов. Полученная модель может быть применена при изучении переходных процессов в кабельных линиях, анализ перенапряжений, а также при решении практических задач, таких как определение места повреждения.

### **Литература**

1. **Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А.** Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. — 2-е изд. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. — 2006. — 319 с.
2. **Токарев, С.Ю.** Фазо-модальное преобразование многопроводных линий / С.Ю. Токарев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2014. — № 2. — С. 25–30.

*В.Д. Битней, М.С. Кушнир, студ.;  
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТРЕНАЖЕРОВ**

Повышение квалификации персонала — одна из наиболее значимых задач в энергетике [1]. Развитие цифровизации с ее динамичностью и скоростью преобразований актуализирует вопросы повышения профессионализма и качества подготовки кадров, способных принимать оперативные решения в нестандартных ситуациях.

Использование компьютерных средств обучения и мониторинга на базе цифровых двойников технологических объектов обеспечивает повышение психологической устойчивости оперативного персонала, сокращение числа технологических нарушений, а также повышение уровня безопасности персонала объектов электроэнергетики.

Целью данного исследования являлся анализ необходимости всестороннего применения программно-технических комплексов по подготовке оперативного персонала.

В работе была проанализирована НТД регламентирующая работу цифровых тренажеров, примеры реализации ПО на базе ПАО «Мосэнерго» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», а также возможность практической реализации перевода мат. модели турбогенератора ТЗФГ-160-2МУЗ в цифровой тренажер.

В результате были получены следующие выводы:

1. Применение программно-технических комплексов по подготовке оперативного персонала позволит значительно снизить аварийность по вине сотрудников компании за счет формирования навыка принятия оперативных решений;
2. Совместное использование программных средств подготовки персонала и обучающих вычислительных систем позволит получить наиболее качественное формирование навыков оперативной деятельности.

В рамках продолжения исследования планируется осуществить перевод разработанной математической модели турбогенератора ТЗФГ-160-2МУЗ для ПАО «Мосэнерго» в цифровой тренажер, позволяющий исследовать поведение ТГ в маневренных режимах работы, с целью организации обучения персонала базовому набору инструкций при поломке турбогенератора.

### **Литература**

1. **Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 22.09.2020 № 796** «Об утверждении Правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации» — Текст: электронный // Официальный интернет портал правовой информации: [сайт]. — 2021 — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=381455> (дата обращения: 24.10.2022)

*А.А. Самойлова, студ.; А.Г. Кощеева, асп.;  
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ, ОБОРУДОВАННОЙ СИСТЕМОЙ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

В 2021 году производство электроэнергии ветряными электростанциями (ВЭС) составило 2035,4 МВт·ч. Наибольшая выработка происходит на ОЭС Юга — 1943,25 МВт·ч [1]. На данный момент генерация электроэнергии ВЭС напрямую зависит от погодных условий и традиционные источники энергии являются основным производителем электрической энергии в энергосистеме. Использование накопителей энергии (НЭ) совместно с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) обеспечивают выравнивание неравномерности генерации ВИЭ, качество электроэнергии, коэффициент готовности ВЭС и приближают их к традиционным электростанциям. Они смогут обеспечить гарантированный график выдачи мощности в энергосистему.

На данный момент применяются различные типы НЭ: электрохимические, емкостные, сверхпроводниковые индуктивные, механические и т.д. Рассмотренные типы НЭ не являются оптимальными для применения в составе ВЭС. Каждый из них обладает своим набором характеристик: мощность, энергоемкость, время отклика, время разряда, плотность и мощность энергии [2]. Таким образом, эффективной будет система из комбинации двух или более типов НЭ для формирования гибридной системы накопления энергии (СНЭ).

Целью данной работы является анализ возможности применения гибридной СНЭ в составе ВЭС. Задачей исследования является разработка методики выбора оптимальных технических показателей гибридной СНЭ для работы в составе ВЭС. На основании проведенного анализа литературы был составлен перечень сочетаний НЭ, который будет входить в состав гибридной СНЭ. В дальнейших исследованиях будут разработаны математические модели подключения гибридной СНЭ к ВЭС, что позволит точнее оценить эффективность применения такого решения для оценки возможности обеспечения гарантированного графика выдачи мощности в энергосистему.

### **Литература**

1. Системный оператор единой энергетической системы России. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 году. М., 2021. 33 с.
2. **H. Che, T.N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, Y. Ding.** Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Progress in Natural Science*, 2009, 291–312.

*И.В. Чернов, А.В. Ремизов, Р.М. Ганиев, С.М. Сабыров, студенты;  
рук. Н.Н. Смотров, старший преподаватель  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–10 КВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ**

В настоящее время, в сетях 6–20 кВ, существуют перенапряжения, которые могут оказывать негативное влияние на работу сети. Например, разрушение изоляции или повреждение электрооборудования.

Существует множество теорий, которые позволяют определить уровень перенапряжений. Каждый метод имеет свои характерные параметры для определения перенапряжения. Целью работы является использование одного из существующих методов и разработка методики, которую возможно использовать на практике.

Расчет перенапряжений дает возможность спрогнозировать возможные риски при возникновении коротких замыканий на землю. Также данный подход позволяет определить правильные типы устанавливаемого в распределительных сетях электрооборудования и избежать аварий на линиях.

В результате выполненной работы был рассмотрен метод Петерсена [2], благодаря которому была разработана методика расчета перенапряжений при различных длинах воздушных линий (100–300 км) и сечениях фазных проводов равных 185 мм<sup>2</sup> и 90 мм<sup>2</sup>.

Анализ результатов показал, что в сети 10 кВ перенапряжения достигают 30 кВ, что в 3 раза превышает номинальное значение напряжения. Такие значения могут быть опасны для эксплуатации электрической системы, поэтому требуется немедленное отключение линии. Также с возрастанием длины линии наблюдается увеличение значений перенапряжений в эквиваленте 5% на каждые 100 км воздушных линий электропередач. Разработанная методика будет использована в будущем авторами для более глубокого анализа перенапряжений.

### **Литература**

1. **Неклепаев Б.Н.** Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. 5-е изд., стер. — Спб.: БВХ-Петербург, 2013. 608 с.: илл. (Учебная литература для вузов) pp. 421–422.
2. **Лихачев Ф.А.** Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев. — М.: Энергия, 1971. pp. 12–21.

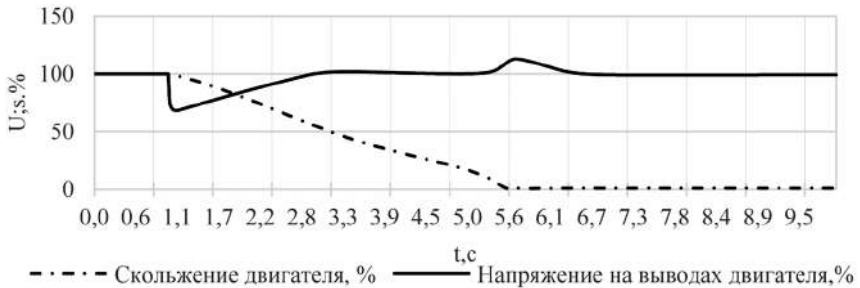
*А.В. Мурзинцев, асп; А.С. Бобкова, А.Р. Филимонов студ;  
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ УСПЕШНОСТИ ПРЯМОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Основным критерием успешности прямого пуска асинхронного двигателя (АД) при приближенной оценке является уровень остающегося напряжения на выводах двигателя. Однако, в условиях электрически близко расположенной генерации, сравнимой по мощности с мощностью АД, невозможно оценить успешность пуска без расчета динамических процессов.

Целью исследования является оценка критериев успешности пуска АД с учетом форсировки возбуждения генератора при различном типе нагрузки на валу АД (насос, вентилятор, компрессор) и при различных условиях пуска (пуск на открытую задвижку, пуск на обратный клапан, пуск на закрытую задвижку).

В результате проведенных опытов было установлено, что критерий оценки остающегося напряжения не является достаточным (рис. 1.) для оценки успешности пуска, а информация по условиям пуска определяет корректность моделирования и успешность самого процесса пуска.



**Рис. 1.** Скольжение двигателя и напряжение на его выводах

Авторами уточнена методика упрощенного расчета пуска АД с учетом момента сопротивления механизмов и форсировки возбуждения генераторов.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании электрических станций в энергосистемах малой мощности и промышленных объектов с большим количеством двигательных нагрузок.

### Литература

1. **S. Kucuk and A. Ajder**, “Analytical voltage drop calculations during direct on line motor starting: Solutions for industrial plants,” in *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 34, no. 13, pp. Issue 4, June. 2022, 101671 doi: 10.1016/j.asej.2021.101671



*А.В. Мурзинцев, асп; Д.А. Кирей, М.Д. Забабурин студ;  
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЫБЕГА МОЩНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ АВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД СТАНЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ В ИЗОЛИРОВАННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ

Собственные нужды аварийной эксплуатации электростанций обеспечивают безопасный останов блоков и не допускают повреждения основного оборудования при потере питания от основных и резервных источников. Процесс запуска таких двигателей представляет сложность для дизель-генераторов из-за большого снижения напряжения при сравнимых мощностях двигателя и генератора. Однако, при использовании быстродействующего автоматического ввода резерва, представляется возможным использовать энергию, накопленную мощными двигателями механизмов собственных нужд.

Целью исследования является оценка возможности использования энергии выбега мощных асинхронных двигателей для облегчения процесса прямого пуска двигателей собственных нужд аварийной эксплуатации.

Авторами разработана модель для расчета переходных процессов в режиме перерыва питания на электрических станциях. Предложен способ повышения надежности электроснабжения собственных нужд аварийной эксплуатации в условиях останова станции и запуска от резервных источников питания, оценена мощность дизель-генераторных установок, требуемая для запуска двигателей аварийной эксплуатации.

В результате проведенных опытов было установлено, что использование энергии выбега позволяет облегчить режим работы резервных источников электропитания. Данный способ пуска систем аварийной эксплуатации может быть использован на электростанциях при невозможности срочной замены ДГУ недостаточной мощности.

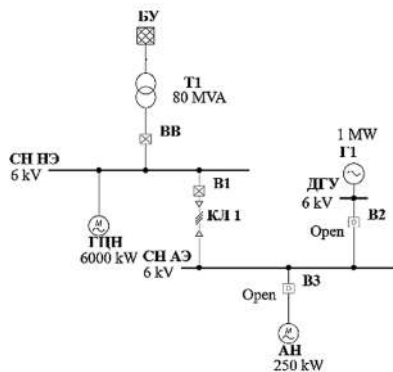


Рис. 1. Модель исследуемой сети

### Литература

1. T. Tiainen, R. Viitala, T.P. Holopainen, B. Hemming, „Analysis of total rotor runout components with multi-probe roundness measurement method”, in Measurement, vol. 17 9 July. 2021, 109422 doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109422

*М.В. Спицына, студент;  
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ 6(10) КВ**

В настоящее время при новом строительстве подстанций автоматизация процессов ведется на основе микропроцессорных устройств. Широко ведутся работы по внедрению технологий цифровых подстанций, ориентированных на информационный обмен сигналами по цифровым сетям. Предусматриваются разные архитектуры автоматизации систем управления. Выбор оптимальной структуры является актуальной задачей. Во многих случаях использование технологий цифровых подстанций ведет к увеличению капитальных затрат и не является оптимальным.

В данной работе проводился сравнительный анализ способов автоматизации комплектных распределительных устройств 6(10) кВ. Был проведен анализ способов передачи сигналов в цифровой форме и с использованием традиционных микропроцессорных средств.

Было произведено исследование, в ходе которого были рассмотрены два технических решения: с применением архитектуры ЦПС [1] и решение на базе отечественного оборудования высокой заводской готовности, выполненного по технологии Plug-n-Play. Были рассмотрены объемы аналоговых и дискретных сигналов, участвующих в обмене между ячейками КРУ. Показано, что для данного класса напряжения объем этих сигналов незначителен и более эффективным может быть осуществлен с помощью традиционных контрольных кабелей, что позволяет экономить на дорогостоящем сетевом оборудовании. Наиболее целесообразной является первая архитектура, предусматривающая только обмен цифровой информацией с АРМ оперативного персонала.

Для оценки результата исследования использовалось технико-экономическое сопоставление решений. В ходе исследования также была произведена оценка трудоемкости проектирования, строительно-монтажных и пусконаладочных работ.

### **Литература**

1. **СТО 34.01-21-004-2019** Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ: стандарт организации / ПАО «Россети»; — Дата введения: 29.03.2019. 114 с.

*В.С. Грибов, О.И. Данилов, студ.;*  
*рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОВЕРКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

На большинстве эксплуатируемых подстанций установлены выключатели, которые не проверялись на соответствие переходным восстанавливающимся напряжениям. Опасность этого в том, что если переходное восстанавливающееся напряжение на контактах выключателя восстанавливается быстрее, чем электрическая прочность межконтактного промежутка, то произойдет повторное зажигание дуги между дугогасительными контактами выключателя [1].

Основной целью данной работы является проверка существующих выключателей присоединения 110 кВ электростанции и установление соответствия фактических значений переходных восстанавливающихся напряжений, нормируемым в ГОСТ Р 52565-2006 [2]. В проделанной работе была разработана расчетная модель в программном комплексе EMTP-RV, состоящая из 2 крупных ТЭЦ и 25 подстанций. Была осуществлена проверка 4 линейных и 5 трансформаторных выключателей, а также учтено влияние токоограничивающих реакторов.

Анализируя данные, полученные в работе, можно сделать вывод о соответствии всех, установленных на исследуемой электростанции, выключателей нормативной документации и их корректной работе при воздействии фактических значений переходных восстанавливающихся напряжений. Разработанная методика может быть использована для проверки оборудования на существующих и проектируемых электростанциях.

### **Литература**

1. Влияние параметров переходного восстанавливающегося Напряжения (ПВН) на отключающую способность выключателя. 06.05.2021. <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/114-vliyanie-parametrov-perehodnogo-vosstanavlivayuschegosya-napryazheniya-pvn-na-otklyuchayuschuyu-sposobnost-vyklyuchatelya.html>.
2. **ГОСТ Р 52565-2006.** Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.

*Е.В. Батищева, К. Бильери, А.А. Ломия, студ.;  
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА КАБЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В СЕТЯХ 10КВ**

Одной из важнейших проблем на предприятии является обеспечение безопасности работников, относящихся к электротехническому персоналу. Её решение кроется в изоляции кабеля. Чтобы снизить опасное воздействие на человека, требуется провести анализ влияния материала изоляции кабеля на величину ёмкостного тока.

В работе рассмотрены кабели с бумажно-масляной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена. Для понимания того, как влияет материал изоляции на электробезопасность, необходимо провести сравнительный анализ ёмкостных токов двух кабелей. Чтобы определить ёмкостной ток кабельной линии надлежит знать значение ёмкости жилы кабеля относительно его оболочки. Для разных материалов это значение будет разным ( $C_{уд(б/м)} = 0,142$  мкФ,  $C_{уд(с/п)} = 0,229$  мкФ). Помимо этого, для расчёта мы выбираем длину линии 110 км, принятую согласно реальным установкам.

Компенсация ёмкостного тока замыкания на землю в сетях 10 кВ применяется для уменьшения перенапряжения в случае повторного зажигания дуги и для создания условий её самостоятельного угасания. В сетях 10 кВ критерием электробезопасности является значение тока горения дуги, равного 15 А, превышение которого недопустимо.

В ходе исследования мы получили следующие значения ёмкостных токов:  $I_{с(б/м)} = 84,7$  А;  $I_{с(с/п)} = 137$  А. Эти значения токов превышают ток устойчивого горения дуги, который достигается при 15 А. В нашем случае необходимо компенсировать ёмкостные токи, так как они не соответствуют значениям, которые обеспечивают электробезопасность в сетях 10 кВ.

Сравнивая полученные значения мы можем сделать вывод: более целесообразно применение бумажно-масляной изоляции, так как ёмкостной ток имеет меньшее значение, чем при использовании изоляции из сшитого полиэтилена.

### **Литература**

1. **Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.** Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоиздат, 1988.

*М.Н. Балашова, А.В. Ремизов, И.В. Чернов студ.;  
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н., старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ**

Токоограничивающие реакторы, последовательно включенные в электрическую цепь, создают в окружающем пространстве магнитное поле высокой интенсивности. При размещении токоограничивающих реакторов на открытых распределительных устройствах, на значительном удалении их магнитное поле не будет влиять на электрооборудование и не создаст угрозы для персонала.

Кроме этого, существуют реакторы, расположенные в закрытом распределительном устройстве, в непосредственной близости к административным и производственным помещениям. Высокие уровни магнитного поля, создаваемые токами реакторов, отрицательно влияют на здоровье сотрудников и на работу оборудования.

В работе рассмотрен токоограничивающий реактор РТОС-10-2500 и рассчитана напряженность магнитного поля на поверхности витков. Основным документом, регламентирующим предельно допустимые уровни магнитных полей промышленной частотой для персонала, является СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях», где ПДУ устанавливается для условий общего и локального воздействия по значениям напряженности МП в производственных условиях.

**Таблица 1.** ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП при воздействии	
	общем, Н [А/м] / В[мкТл]	локальном, Н [А/м] / В[мкТл]
≤1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

При расчете магнитного поля реактора его напряжённость на расстоянии 1 м от поверхности витков  $H=1267,35$  А/м.

Для данного значения напряженности допустимо пребывать под общим воздействием менее 1ч и под локальным воздействием до 4 ч.

### **Литература**

1. **Неклепаев Б.Н., Крючков И.П.** Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоиздат, 1988.
2. **Шуина В.А., Мисриханова М.Ш., Мошкарин А.В.** Повышение эффективности работы энергосистем. Энергоатомиздат, 2004.

Н.А. Бондаренко, студент; рук. О.Ю. Гусев (НИУ «МЭИ»)

## ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ И ПЕРЕХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ТОК ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

При расчете токов однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях с низкоомным резистивным заземлением нейтрали часто неоправданно пренебрегают емкостными токами и переходными сопротивлениями. С помощью расчетной модели, созданной в Matlab Simulink, выполнено исследование ОЗЗ в распределительной сети 20 кВ с заземленной через резистор сопротивлением 12 Ом нейтралью. Расчетная модель верифицирована путем сопоставления расчетных данных с результатами аналитических расчетов и с натурными осциллограммами.

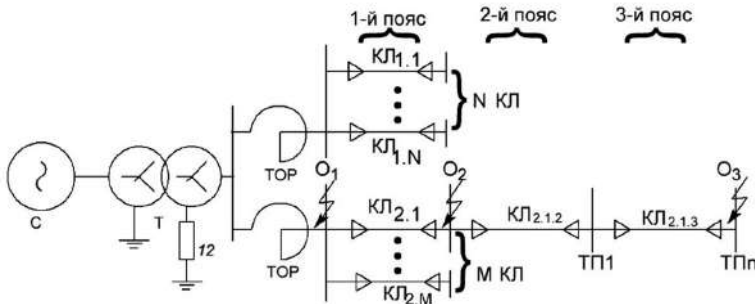


Рис. 1. Расчетная схема участка сети;  $O_1^{(1)}$ ,  $O_2^{(1)}$ ,  $O_3^{(1)}$  — ОЗЗ на головном участке кабельной линии (КЛ) первого, второго и третьего поясов кабельной сети, соответственно

### Результаты расчет токов ОЗЗ

Место ОЗЗ	Ток резистора нейтрали, А	Ток ввода секции шин, А	Ток КЛ первого пояса, А	Ток КЛ второго пояса, А	Ток КЛ третьего пояса, А
O1 (1)	87,0	110,0	159,0	-	-
O2 (1)	85,4	108,0	156,0	158,0	-
O3 (1)	84,2	106,0	153,0	156,0	157,0

Результаты расчетов, с учетом переходного сопротивления 90 Ом и емкости кабельной сети с суммарной длиной кабелей 250 км и, приведенные в табл., показали, что при выборе уставок релейных защит от ОЗЗ, следует учитывать не только активную составляющую — 1000 А, обусловленную резистором в нейтрали сети, но и емкостные составляющие токов от кабельных линий, а также и переходные сопротивления в месте ОЗЗ.

*А.П. Торохтунов, А.А. Ланкин, Е.А. Ионенко, студ.;  
рук. Д.Н. Асаинов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ НА ПРИЛЕГАЮЩУЮ СЕТЬ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ**

На сегодняшний день наблюдается высокий темп развития зарядной инфраструктуры в Российской Федерации за счет государственных программ развития производства и использования электрического автомобильного транспорта [3], а также растущего рынка отечественных электрических автомобилей. Увеличение числа электротранспорта влечет за собой не только увеличение потребляемой мощности, но и количества электрических накопителей, а именно аккумуляторных батарей. Увеличение потребляемой мощности можно использовать в качестве комплекса для выравнивания графиков нагрузки потребителей, а электрические накопители как резервные источники мощности, то есть появляется возможность использовать технологию Vehicle To Grid (V2G) [1]. Однако одной из наименее исследованных проблем является эжектирование гармоник в сеть, что может повлечь за собой выход из строя электрооборудования питающей трансформаторной подстанции. Для снижения влияния гармоник могут устанавливаться специальные фильтры [2].

В результате исследования были изучены параметры эжектируемых гармоник, необходимость установки фильтра в схему электрической зарядной станции, были рассчитано влияние системы V2G в комплексе с интеллектуальным потреблением электроэнергии на более эффективное выравнивание графика нагрузки потребителей.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка электрической зарядной станции электромобилей и стенда по испытаниям для создания центра производства и сертификации на базе ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Junwei Lu and Jahangir Hossain** “Vehicle-to-Grid: Linking Electric Vehicles to the Smart Grid” //The Institution of Engineering and Technology // 2015.
2. **Колесников Г.Ю., Щикунов Н.Н.** Возможность применения активных фильтров гармоник в распределительных сетях 0,4 кВ // Вестник Северо-Кавказского федерального университета // 2019.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р

*Е.Ю. Голохвастов, М.С. Кушнир, студенты;  
рук. О.Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ПОЛНОЙ, ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Настройка релейной защиты (РЗ) от замыканий на землю в распределительных сетях 20 кВ без учета погрешностей трансформаторов тока может приводить к неправильной работе РЗ. Целью данного исследования являлась оценка влияния полной, токовой и угловой погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) на работу различных видов РЗ в сетях 20 кВ.

В программном комплексе EMTP-RV была разработана расчетная модель ТТНП на основе начальной кривой намагничивания. Модель была верифицирована исходя из полной погрешности [2] равной 10% при среднеквадратичном значении номинального тока предельной кратности (3600 А), номинальной нагрузке и  $\cos\phi$  равным 0,8, согласно [1]. Номинальный ток первичной обмотки рассматриваемого ТТНП — 200 А.

Рассматривались следующие режимы работы:

1. Пять вариаций утроенного тока нулевой последовательности (1000, 3000, 6000, 9000 и 12000 А).
2. Нагрузка вторичной цепи варьировалась в диапазоне 0,5, 1 и 1,5 крата от номинальной нагрузки ТТНП при номинальном  $\cos\phi$ .

Результаты моделирования на расчётной модели в EMTP-RV при номинальной нагрузке ТТНП представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты моделирования на расчётной модели в EMTP-RV

$3I_0$ , А	Eps, %	dI, %	deg, °
1000	0,2083	0,1860	0,36
3000	2,331	1,355	0,36
6000	26,38	20,95	-0,18
9000	35,91	30,12	-6,84
12000	40,84	35,04	-9,90

Результаты моделирования позволили дать оценку влияния погрешностей ТТНП на работу токовых защит нулевой последовательности, защит от несимметричных режимов и дифференциальных защит.

### **Литература**

1. ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия.
2. Королёв Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. / М.: Энергия, 1980 — 208 с.



*М.С. Кушнир, Е.Ю. Голохвастов, студ.;  
О.Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ГИСТЕРЕЗИСА НА РАСЧЕТ ПОЛНОЙ, ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

Недостаточно точный учет влияния перенасыщения трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП) на токовые и угловые погрешности измерения — одна из причин неправильной настройки параметров и алгоритмов функционирования таких защит, как токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП), дифференциальная защита нулевой последовательности (ДЗНП) и пр.

Целью данного исследования являлся анализ необходимости учета эффекта гистерезиса при оценке полной, токовой и угловой погрешностей ТТНП в распределительных сетях 20 кВ.

Для исследования были разработаны и верифицированы две модели ТТНП по Т-образной схеме замещения. В одной модели сопротивление ветви намагничивания было реализовано с учетом эффекта насыщения по начальной кривой намагничивания [1]. Во второй модели учитывался эффект гистерезиса в соответствии с моделью, предложенной Д.Н. Эвартом [2].

Верификация моделей производилась по экспериментальным данным, снятым с ТТНП ТТЗЛ-НТЗ-0,66 с помощью Ретом-21.

Для сравнения моделей проводился анализ полной, токовой и угловой погрешностей моделей, которые рассчитывались в соответствии с методикой, описанной в [1]. В ходе анализа рассматривались следующие режимы работы:

1. Расчетные значения токов получены исходя из пяти вариаций утроенного тока нулевой последовательности (150, 500, 1000, 1500 и 2000 А).
2. Нагрузка вторичной цепи варьировалась в диапазоне 0,5, 1 и 1,5 крат от номинальной нагрузки ТТНП при номинальном  $\cos\phi$ .

В ходе исследования была получена зависимость погрешностей ТТНП от нагрузки во вторичной цепи и первичного тока. Было выявлено, что эффект гистерезиса влияет на полную погрешность ТТНП менее, чем на 2% при токах, не превышающих предельно номинальную кратность и при нагрузках вторичной цепи, близким к номинальным. Однако при больших первичных токах или меньших нагрузках вторичной цепи эффект гистерезиса оказывает влияние более 5%, и его следует учитывать.

### **Литература**

1. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. / Королёв Е.П., Либерзон Э.М. — М.: Энергия, 1980 — 208 с.
2. D.N. Ewart Digital Computer Simulation Model of a Steel-Core Transformer // IEEE, Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 3, July 1986, pp. 174–183.

К.Р. Биткулов, Д.Д. Умурзаков, студ.;  
рук. О.Ю. Гусев (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА RLC-ЦЕПЕЙ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В связи с уходом с российского рынка многих иностранных производителей программного обеспечения (ПО) по расчету переходных процессов (ПП) в электрических цепях появляется необходимость разработки отечественного ПО.

Целью данной работы является разработка алгоритма по расчету ПП в RLC-цепях.

Разработка алгоритма проводилась на языке программирования Python с применением двух методов: модифицированный метод узловых потенциалов (ММУП) и метод переменных состояния, описанные в [1] и [2].

Применение ММУП позволяет рассчитывать схемы с элементами, которые не могут быть описаны через проводимость — независимые источники напряжения, управляемые источники и пр. Использование данного метода приводит к расширению систем уравнений, в сравнении с другими методами, но его алгоритм проще реализовать на вычислительной машине, что является преимуществом для автоматизированного решения. Чтобы скомпенсировать сложность метода проводится LU-разложение расширенной матрицы узловых проводимостей.

Верификация разработанной модели проводилась в программном комплексе Mathcad.

На рисунке 1 представлен пример электрической схемы с матричными уравнениями.

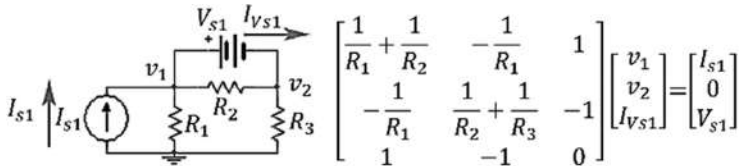


Рис. 1. Пример электрической схемы с матричным уравнением: расширенная матрица узловых проводимостей, искомая матрица, расширенная матрица узловых токов

Разработанное ПО, как альтернатива зарубежному, предоставляет возможность проводить точную оценку (отклонения < 1%) и расчет переходных процессов в RLC-цепях различной сложности.

### Литература

1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. — 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003. — 463 с.: ил. ISBN 5-94723-620-6.
2. J.M. Zavahir Hybrid electromagnetic transient simulation with the state variable representation of HVDC converter plant // IEEE, Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp. 1591–1598.

*Д.Д. Умурзаков, К.Р. Биткулов, студ;  
рук. О.Ю. Гусев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА СИНТЕТИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

В связи с уходом с российского рынка большого числа зарубежных программных комплексов для расчета процессов, протекающих в электрических сетях, возникает необходимость их импортозамещения.

На языке программирования «Python» был написан модуль, позволяющий преобразовывать схемы электрических цепей согласно методу синтетических схем. Для разностной аппроксимации компонентных дифференциальных уравнений использовался метод трапеций [1]. Данный метод подразумевает проведение итерационного расчета, при котором индуктивные и ёмкостные элементы заменяются на параллельное соединение активного сопротивления и источника постоянного тока, чьи параметры для индуктивности рассчитываются по выражениям 1 и 2.

$$R = 2L / h, \quad (1)$$

$$J_n = i_n + (h / 2L) u_n, \quad (2)$$

где  $h$  — шаг расчета, с.

Параметры источника тока пересчитываются на каждой итерации расчета исходя из тока и напряжения на элементе в предшествующем шаге. Пример исходной и преобразованной схем приведён на рисунке 1. Верификация программы была проведена путем сравнения результатов с ручным расчетом.

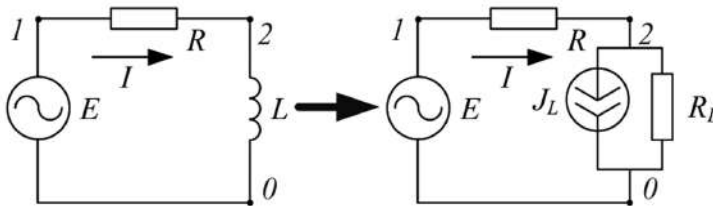


Рис. 1. Пример преобразований по методу синтетических схем

Исходные данные и результаты расчета поставляются в формате матрицы, построчно описывающей все ветви схемы. Такой формат удобен для дальнейшего автоматизированного расчета.

В дальнейшем планируется использование написанной программы в составе модуля для расчета переходных процессов в электрических цепях с использованием метода узловых потенциалов.

### Литература

1. К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 2. СПб.: Питер, 2003.

**Секция 56**  
**СЕКЦИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА**  
**Б.К. МАКСИМОВА**  
**«ЭЛЕКТРОФИЗИКА И СИСТЕМЫ**  
**УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ**  
**ОБЪЕКТОВ»**  
**Electrophysics and control systems of electric**  
**power engineering objects**

---

*Председатель секции: к.т.н., доцент Арцишевский Ян Леонардович*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Орлов Александр Васильевич*

*При поддержке*

*Центра НТИ "Технологии транспортировки  
электроэнергии и распределенных  
интеллектуальных энергосистем"*



**ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ НТИ**  
**на базе НИУ "МЭИ"**

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

*И.О. Савельев, студ.;  
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ВОЗДУХЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СТРИМЕРОВ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ЛАВИНАМИ**

Интерес к изучению стримерного разряда в воздухе обусловлен, в т.ч., его применением для конверсии вредоносных газообразных примесей [1]. Одним из методов исследования электрических разрядов является их математическое моделирование. Модели стримеров и примеры их использования приведены, например, в [1, 2].

Такие расчёты часто делаются для газа без включений (встречных электронных лавин (ЭЛ), частиц аэрозоля). Но положительные стримеры распространяются за счёт взаимодействия со встречными ЭЛ [1]. Поэтому важно знать результаты взаимодействия стримеров с ЭЛ. В докладе показаны данные соответствующих вычислительных экспериментов. Расчёты выполнены при помощи разработанных на кафедре ТЭВН «НИУ «МЭИ» математической модели [2] и реализующей программы. Эти исследования начаты несколько лет назад [3], и данный доклад продолжает их.

Ниже приведены основные результаты для положительных стримеров, распространяющихся в заполненном воздухом разрядном промежутке длиной 0,15 см с однородным электрическим полем (ЭП) с напряжённостью 65 кВ/см. Атмосферные условия нормальные.

Чтобы оценить влияние встречных ЭЛ на развитие положительных стримеров было изучено их распространение строго вдоль общей оси симметрии. Варьировалось начальное расстояние  $Dz$  между ними. Результаты сопоставлены с данными, полученными для одиночного стримера, движущегося в среде без встречных ЭЛ. Оказалось, что при  $Dz=0,01-0,02$  см параметры стримера, взаимодействующего с ЭЛ, мало отличаются от одиночного стримера. При  $Dz=0,03-0,04$  см стример, взаимодействующий с ЭЛ, распространяется скачкообразно с увеличением скорости и напряженности ЭП сразу после слияния с ЭЛ.

### **Литература**

1. **Бортник И.М.** Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. / И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; под ред. И.П. Верещагина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Белогловский А.А., Верещагин И.П.** Трёхмерное математическое моделирование стримерного разряда в воздухе с учётом ветвления: экономичный расчёт электрического поля // Электричество. 2011. № 11. С. 17–24.
3. **Лякишева Е.К.** Расчёт взаимодействия катода направленного стримера с электронной лавиной в воздухе // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать первая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 4. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 284.

*Н.В. Деревнин, студ.;*  
*рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН В ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ С ОДНОРОДНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

Развитие электрических разрядов (ЭР) в газе начинается с появления в них электронных лавин (ЭЛ). ЭЛ — это компактная группа электронов, дрейфующих в газе в электрическом поле (ЭП) и совершающих ударную ионизацию [1]. С появления ЭЛ начинаются многие процессы в природе и установках высокого напряжения. Лавинная форма ЭР предшествует стримерной, и развитие ЭЛ и лавинно-стримерных (ЛС) переходов определяют начальные условия формирования стримеров. Стримерный разряд предшествует пробое изоляционных промежутков, используется в высоковольтных электротехнологиях, возникает на заземлённых объектах в ЭП лидера молнии и предшествует появлению встречного лидера. Изучение этих явлений требует знания критических параметров (КП) ЭЛ.

В докладе представлены результаты вычислительных экспериментов, имевших целью расчёт КП ЭЛ как функции напряженности  $E_0$  внешнего поля, где развивались ЭЛ. Расчёты выполнены для заполненных воздухом разрядных промежутков длиной 0,3...0,4 см с однородным ЭП при  $E_0=45...80$  кВ/см и нормальных атмосферных условиях. Эта работа продолжает цикл исследований, начатых в статье [2] и докладе [3], и в ней изучено влияние электродов на значения КП ЭЛ.

Показано, что критическое число электронов  $n_{\text{кр}}$  слабо зависит от  $E_0$ , если ЛС переход происходит вдали от электродов, и  $n_{\text{кр}} \approx 0,3 \cdot 10^8$ . Если же переход происходит у анода или катода, то значения  $n_{\text{кр}}$  возрастают и достигают  $n_{\text{кр}} \approx (0,5...0,9) \cdot 10^8$ . Это обусловлено тем, что при ЛС переходах близко к электродам велик вклад ЭП отражений её зарядов в электродах.

### **Литература**

1. **Бортник И.М.** Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. / И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; под ред. И.П. Верещагина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Белогловский А.А., Белоусов С.В.** Анализ накопления объемного заряда при лавинно-стримерных переходах в воздухе в сильных однородных электрических полях // *Электричество*. 2020. № 4. С. 10–15.
3. **Белогловский А.А., Белоусов С.В., Таратонкина К.И.** Изучение лавинно-стримерных переходов в воздухе средствами математического моделирования. Часть I: оценка критического числа электронов в лавинах // *Фёдоровские чтения — 2020: L Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы / под общ. ред. Ю.В. Матюниной.* — М.: Издательский дом МЭИ, 2020. — М.: Издательство МЭИ, 2020. С. 255–263.

*А.В. Галимова, асп.;*  
*рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СТРИМЕРОВ В ВОЗДУХЕ В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Стримерный разряд используется, например, для очистки воздуха от газообразных примесей [1]. Применяя его в плазмохимических реакторах, их создатели стараются добиться плотного заполнения разрядного промежутка стримерами. Оно обеспечивает интенсивную генерацию в них химически активных частиц, которые вступают в реакции с молекулами нежелательных примесей [1]. Это объясняет интерес к изучению стримерного разряда, в т.ч. в вычислительных экспериментах. Зачастую, однако, вычисляются параметры одиночных стримеров, пусть даже ветвящихся, а не разрядов, развивающихся в коллективе [2].

Здесь изучается взаимодействие параллельно развивающихся соседних положительных стримеров: влияние расстояния между ними на значения напряжённости электрического поля (ЭП) в стримерных головках. Последнее важно, поскольку она, наряду с концентрацией свободных электронов, определяет интенсивность наработки радикалов. Работа выполнена при помощи предложенной на кафедре ТЭВН «НИУ «МЭИ» математической модели стримерного разряда [3]. Она продолжает и развивает ранее проведённые исследования [4], где изучалось взаимное влияние стримерных головок, распространяющихся вблизи друг от друга.

В качестве примера приведены данные для положительных стримеров в воздушном разрядном промежутке длиной 0,15 см с однородным ЭП с напряжённостью 60...80 кВ/см. Атмосферные условия нормальные. Выявлено снижение напряжённости ЭП в стримерных головках, развивающихся в коллективе, по сравнению с одиночными стримерами. Чем меньше расстояние между ними, тем слабее ЭП в их головках.

### **Литература**

1. **Бортник И.М.** Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. / И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; под ред. И.П. Верещагина. – 3-е изд., перераб. и доп. — М: Издательство МЭИ, 2018.
2. **Parageorgiou L., Georghiou G.E., Metaxas A.C.** Three-dimensional numerical modeling of gas discharges at atmospheric pressure incorporating photoionization phenomena // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. Vol. 44. 045203.
3. **Белогловский А.А., Верещагин И.П.** Трёхмерное математическое моделирование стримерного разряда в воздухе с учётом ветвления: экономичный расчёт электрического поля // Электричество. 2011. № 11. С. 17–24.
4. **Влияние** фотоионизации на распространение катодонаправленных стримеров в воздухе / И.П. Верещагин, А.А. Белогловский, М.А. Колобайцев, Г.З. Мирзабекян // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 67–72.

*Д.В. Сарычев, студ.;*  
*рук. А.В. Карпов, д.ф.-м.н., проф. (КПФУ, Казань)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЛЭП 6–10 КВ**

Локационный метод обнаружения неисправностей ЛЭП [1] является дистанционным методом диагностики, основанном на распространении зондирующего сигнала вдоль линии и анализе его отражений от неоднородности. Анализ литературы показал, что данный метод требует доработок в следующих аспектах:

- 1) обоснование возможности применения локационного метода на ЛЭП с разветвленной структурой при низких отношениях сигнал/шум;
- 2) исследование эффективности локационного метода в зависимости от вида повреждения;
- 3) обоснование выбора типа и параметров зондирующего сигнала.

Для решения этой комплексной проблемы мы предлагаем сделать сначала упор на моделирование, на основе результатов которого в дальнейшем могут быть разработаны практические рекомендации по проведению натурных экспериментов.

В работе приведена имитационная модель системы диагностики линий электропередач 6–10 кВ (разработанная в среде PSCAD/EMTDC и MATLAB), которая позволяет осуществлять оценку точности определения места повреждений электролиний при различных видах топологии электросети и различных зондирующих сигналах.

Ранее была предложена концепция интеллектуального электромодема (устройства сочетающего в себе локатор и модем), в которой предполагается установка центрального и удалённых устройств, выполняющих мониторинг электросети посредством обмена данными. По возросшей величине коэффициента битовых ошибок в информационных пакетах снимается неоднозначность определения поврежденного участка ЛЭП, полученная локационным методом. Проведено моделирование изменения коэффициента битовой ошибки на поврежденном участке линии с линейной и разветвлённой структурой. Основные результаты, полученные в данной работе:

- 1) Результаты моделирования изменения коэффициента битовой ошибки на поврежденном участке линии.
- 2) Результаты моделирования по определению места повреждения (при различных повреждениях ЛЭП).

### **Литература**

1. **Шагиев Р.И., Карпов А.В., Калабанов С.А.** Локационный способ обнаружения неисправностей на разветвленных электролиниях // «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА» № 2/2019



*В.А. Гуцан, М.А. Бухтилова, студенты;  
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В УСТАНОВКАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ БЕЗУСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ПОСТАНОВКАХ**

Регулирование электрических полей (ЭП) является одним из видов инженерной деятельности в технике и электрофизике высоких напряжений (ТЭВН) [1]. Можно выделить две постановки задачи регулирования ЭП:

- минимизация напряжённости ЭП в изоляционных конструкциях высокого напряжения (ВН);
- максимизация начальных или разрядных напряжений в них [2,3].

Изменяя форму электродов, расстояние между ними, добавляя экраны, можно добиться решения задачи в той или иной формулировке.

Задачи регулирования ЭП в ТЭВН допускают математическую постановку в виде задач условной или безусловной оптимизации [1]. В качестве примера приложения аппарата математической оптимизации к решению задач регулирования ЭП в устройствах ВН в докладе рассмотрено её применение к выбору параметров системы электродов одножильного коаксиального кабеля с газовой изоляцией. Здесь возможны две формулировки критерия (целевой функции):

- минимизировать максимальное значение напряжённости ЭП в системе (оно достигается на поверхности токоведущего электрода);
- максимизировать начальное напряжение изоляционного промежутка.

В докладе показано, что применение этих критериев даёт несколько разные результаты: первая из указанных постановок задачи даёт на 12...14% более высокие значения радиуса токоведущего электрода, чем вторая. Поэтому, выбирая критерий математической оптимизации для решения задачи регулирования ЭП, следует склониться к тому, который лучше соответствует её физической постановке.

### **Литература**

1. **Белогловский А.А., Калугина И.Е.** Основы применения методов математического программирования в электроэнергетике: метод. руководство. — М.: Издательство МЭИ, 2017.
2. **Электрофизические** основы техники высоких напряжений: учеб. для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
3. **Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С.** Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов / Под общ. ред. В.П. Ларионова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

*М.А. Бухтилова, В.А. Гуцан, студенты;  
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) предназначен для расчёта электростатических полей (ЭП). Реальное ЭП замещается эквивалентным ему полем фиктивных (эквивалентных) зарядов (ЭЗ), размещённых внутри проводников полеобразующей системы [1]. Значения и распределение ЭЗ выбираются так, чтобы эквипотенциали эквивалентного поля как можно лучше приближали бы эквипотенциали реального ЭП. МЭЗ применяется для расчёта ЭП воздушных линий электропередачи и распределительных устройств высокого напряжения (ВН) [2], других установок ВН [3].

Обычно каждому ЭЗ ставится в соответствие контурная точка (КТ) на поверхности проводника, в которой требуется выполнить граничное условие (например, требование равенства потенциала КТ заданному значению). Количество КТ и ЭЗ равны. Их значения определяются из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), связывающей значения ЭЗ и потенциалов КТ. Параметры поля в пространстве между проводниками определяются методом наложения полей отдельных ЭЗ.

Создание нового электрооборудования требует детального расчёта ЭП, и быстрое действие классического МЭЗ недостаточно. Первый способ его улучшения — применение линейно-зависимых ЭЗ. Лишь одному из заданного числа ЭЗ — опорному — ставится в соответствие КТ, а значения промежуточных ЭЗ между опорными определяются линейной функцией [3]. Размерность СЛАУ уменьшается, расчёт ускоряется. Попытка уточнить расчёт за счёт роста числа ЭЗ ведёт к увеличению размерности СЛАУ и увеличению погрешностей. Поэтому второй способ модернизации МЭЗ заключается в корректном выборе метода решения СЛАУ [4].

### **Литература**

1. **Белогловский А.А., Белоусов С.В., Ковалев Д.И.** Расчет электрических полей методом эквивалентных зарядов в примерах: учеб. пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2021.
2. **Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов / Е.С. Колечицкий, В.А. Романов, В.Г. Карташев — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. **Кривов С.А., Морозов В.С.** Модифицированный метод эквивалентных зарядов расчета плоскопараллельных полей // Известия академии наук. Энергетика. № 1. 1993. С. 139–145.
4. **Белогловский А.А., Артамонова Т.В.** О решении систем линейных уравнений при расчете электрических полей методом эквивалентных зарядов // Материалы: XXVI Международная конференция «Электромагнитное поле и материалы». — М.: ИНФРА-М, 2018. С. 305–316.

*А.М. Чикалева, асп.; рук-ли О.С. Мельникова, к.т.н., доц.,  
С.В. Воробьев, ст. преп. (ИГЭУ, Иваново)*

## **ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ НАВЕДЕННОГО ТОКА В ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ СО ВСТРОЕННЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНОМ**

В настоящее время в России взят курс на цифровое преобразование экономики страны [1], затрагивающий и отрасль энергетики. Цифровая трансформация меняет подход к развитию распределительных систем и предъявляет все более высокие требования к надежности воздушных линий электропередачи (ВЛ). Последнее время наблюдается активная замена грозозащитных тросов на тросы со встроенным оптическим волокном (ОКГТ). Независимо от напряжения ВЛ ОКГТ должен, как правило, быть заземлен на каждой опоре, в некоторых случаях допускается любой способ подвески ОКГТ [2, 3].

При заземлении тросов на каждой опоре возникает контур, образованный тросом, опорой и землей, что в соответствии с законом электромагнитной индукции приводит к возникновению взаимоиндукции между фазными проводниками и заземленными участками грозозащитных тросов. В результате этого, в тросе появляется индуцированный ток, значение которого во многом зависит от как от геометрии опор, так и от значения тока, протекающего в фазных проводах.

Для расчета значений токов, наведенных в грозозащитных тросах разного типа, была разработана модель в графическом редакторе ATP Draw, который применяется для расчетов электромагнитных переходных процессов. Исследования выполнены для опор различной геометрии, а также при разных значениях сопротивления заземления. Результаты расчетов показали, что для ВЛ 110 кВ значение индуцированного тока изменяется в пределах от 3 до 30 А для одноцепных ВЛ и от 20 до 65 А для двухцепных ВЛ, что существенно влияет на величину активных потерь на ВЛ. Проведенный анализ показал необходимость пересмотра требований к подвеске ОКГТ на ВЛ с целью снижения эксплуатационных затрат.

### **Литература**

1. **Указ Президента Российской Федерации** № 204 от 7.05.2018 о национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года.
2. **Правила Устройства Электроустановок (ПУЭ)** — 7 издание. Утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
3. **СТО 56947007-33.180.10.172-2014** Технологическая связь. Правила проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС на воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше.

*А.А. Иванов, асп.; К.П. Еремин, студ.;  
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЧУВСТВЛЕНИЕ АППАРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЩИТА 0,4 КВ ВВОДА ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СОБСТВЕННЫЙ ГЕНЕРАТОР**

В связи с возможными отключениями электроснабжения потребителей от системы централизованного электроснабжения, зачастую загородные дома имеют дополнительный источник питания в виде резервного генератора для автоматического или ручного включения [1].

Резервный генератор имеет ограниченную мощность питания, что ограничивает токи коротких замыканий. Встречаются случаи, когда при переключении на электроснабжение от генератора используются те же, что и при питании от централизованного электроснабжения автоматические выключатели. Использование одинаковых автоматических выключателей грозит отсутствием защиты электрической цепи от перегрузки и токов короткого замыкания, что в свою очередь приводит к пожарам и человеческим жертвам.

Для решения проблем, представленных выше, приходится использовать дополнительные автоматические выключатели [2]. Данное решение является оптимальным с точки зрения электрической безопасности, но минусом данного решения является необходимость выделения дополнительного места для электрического щита с автоматическими выключателями и необходимость ручного переключения, что не исключает ошибок, вызванных человеческим фактором.

В связи с этим в настоящей работе рассматривается разработка интеллектуального устройства очувствления аппаратуры электрического щита 0,4 кВ ввода при переходе на собственный генератор защиты дома на базе микропроцессора. Устройство должно параметрироваться в соответствии с техническими параметрами генератора.

В случае отсутствия напряжения в сети централизованного электроснабжения, устройство должно автоматически очувствлять уставки и переключиться на собственный генератор. В результате такое устройство обеспечит селективное отключение поврежденной цепи 0,4 кВ путем инициализации срабатывания ее автоматического выключателя.

### **Литература**

1. **Михайлов В.Е.** Современная электросеть. — 1 изд. — СПб: Наука и техника, 2013. — 256 с.
2. **Конюхова Е.А.** Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. — 1 изд. — М: «Мастерство», 2002. — 320 с.

*В.С. Дубовик, асп.;*  
*рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ РЗА**

Электроэнергетика является важнейшей отраслью экономики Российской Федерации. В соответствии с требованиями Федерального закона № 187-ФЗ электросетевые компании являются субъектами критической информационной инфраструктуры.

Согласно Приказу ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 одним из первоочередных шагов разработки организационных и технических мер по обеспечению безопасности значимых объектов КИИ является анализ угроз безопасности информации и разработка модели угроз безопасности информации.

Целью настоящей работы является первичное моделирование угроз безопасности информации терминалов релейной защиты.

Объект исследования: угрозы безопасности информации объектов критической информационной инфраструктуры сферы электроэнергетики.

Предмет исследования: угрозы безопасности информации терминалов релейной защиты и автоматики.

По результатам проведённых исследований были достигнуты следующие поставленные цели:

1. Определены негативные последствия, которые могут наступить от реализации (возникновения) угроз безопасности информации в отношении МПУ электрических подстанций;
2. Определены источники угроз безопасности информации, проведена оценка возможностей нарушителей по реализации угроз безопасности информации;
3. Результаты оценки способов реализации (возникновения) угроз безопасности информации должны использоваться при выборе соответствующих организационных и технических мер;
4. Оценка сценариев реализации угроз безопасности информации в МПУ.

### **Литература**

1. **Приказ ФСТЭК России № 239** от 25 декабря 2017 г. «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (в ред. Приказов ФСТЭК России от 9 августа 2018 г. № 138, от 26 марта 2019 г. № 60, от 20 февраля 2020 г. № 35)
2. **Методический документ** «Методика оценки угроз безопасности информации», утверждён ФСТЭК России 5 февраля 2021 г.

*А.З. Исеев, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Расчёт электрических полей (ЭП) открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций высокого напряжения (ВН) в общем случае сложнее расчётов ЭП воздушных линий (ВЛ) электропередачи ВН, поскольку на ОРУ необходимо учитывать влияние порталов и более сложную конфигурацию ошинок. На них могут возникнуть локальные усиления напряженности ЭП и, следовательно, коронный разряд (КР), внедряющий ионы в окружающую среду и искажающий в ней электромагнитную и акустическую обстановку. Для расчёта ЭП с учётом названных факторов необходимо составить расчетную модель (РМ), которая должна упростить задачу расчёта ЭП, обеспечивая при этом приемлемую точность расчёта [1].

В работе методом эквивалентных зарядов (МЭЗ) выполняется расчёт максимальной напряжённости трёхмерных ЭП на поверхностях ошинок ОРУ [1], а также её действующих значений на высоте 1,8 м над землёй. В первом случае полученные напряжённости сравниваются с их начальными значениями, при которых появляется КР [2]. Во втором случае расчётные значения напряжённости сравниваются с допустимыми, указанными в соответствии с СанПиН [3] и учебном пособии [4].

На основе полученных результатов вычислений вырабатываются рекомендации по оптимизации конфигурации и расположения ошинок ОРУ ВН по критериям минимизации напряжённости ЭП на их поверхностях, а также вблизи поверхности земли.

### **Литература**

1. **Белоедова И.П.** Расчёт электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие для вузов / И.П. Белоедова, Ю.В. Елисеев, Е.С. Колечицкий и др.; под ред. Е.С. Колечицкого. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Бортник И.М.** Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. / И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; под ред. И.П. Верещагина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2018.
3. **СанПиН 1.2.3685-21** Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. — М.: Минздрав России, 2021.
4. **Колечицкий Е.С.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов / Е.С. Колечицкий, В.А. Романов В.Г. Карташев. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*Т. Байсахадова, студ.; Е.К. Титарев, асп.;  
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ (ОБЗОР)**

Расчёт и анализ электрических полей (ЭП) в технике и электрофизике высоких напряжений (ТЭВН) является одним из инструментов проектирования установок высокого напряжения [1], где зачастую нужно оптимизировать форму электродов, минимизируя напряжённость ЭП. Часто это нельзя сделать аналитически, и расчёт ЭП приходится выполнять одним из численных методов [1].

Анализ посвящённой этому литературы показал, что в стандартных программах для расчёта ЭП широко распространён метод конечных элементов (МКЭ) [1]. Это обусловлено его универсальностью и хорошим балансом между точностью расчётных значений напряжённости ЭП и затратами машинного времени. Однако сложность программной реализации МКЭ затрудняет его применение в специализированных инженерных приложениях для решения задач ТЭВН (регулирование ЭП в изоляционных конструкциях, вблизи воздушных линий электропередачи).

Метод конечных разностей (МКР) [1] успешен при решении задач, требующих расчёта ЭП в узлах прямоугольной сетки во всём межэлектродном пространстве. Пример — математическое моделирование электрических разрядов [2]. Недостаток МКР состоит в усложнении его алгоритма при расчёте ЭП вблизи криволинейных поверхностей. Эта проблема разрешима, но требует дополнительных вычислительных затрат.

Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) [1] используется для расчёта ЭП воздушных линий электропередачи [3] и установок высоковольтных электротехнологий. Он даёт наилучшие результаты, если конфигурация ЭП умеренно сложна, и оно рассчитывается в ограниченном числе точек.

Исходя из сказанного можно сделать предварительный вывод, что в общем случае для расчёта ЭП в ТЭВН представляет интерес МКЭ. Для расчёта полей сравнительно простой конфигурации подходит МЭЗ.

### **Литература**

1. **Куффель Е., Цаенгл В., Куффель Дж.** Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011.
2. **Белогловский А.А., Верещагин И.П.** Трёхмерное математическое моделирование стримерного разряда в воздухе с учётом ветвления: экономичный расчёт электрического поля // Электричество. 2011. № 11. С. 17–24.
3. **Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*В.А. Соловьев, асп.; рук. Е.Н. Колобродов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТТ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

В целях обеспечения правильной работы устройств релейной защиты при реконструкции существующих объектов и при проектировании новых объектов, выполняется проверка ТТ по ГОСТ Р 58669-2019 [1], которая заключается в расчете времени до насыщения ТТ при КЗ.

Расчет времени до насыщения ТТ согласно методике по ГОСТ Р 58669-2019 [1] выполняется аналитическим и графическим методом, однако в любом случае перед непосредственным определением времени до насыщения необходимо подготовить исходные данные для расчетов и определить постоянные времени затухания аperiodической составляющей токов подпитывающих место КЗ для случаев симметричного и несимметричного КЗ.

Расчет постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока подпитки несимметричного КЗ представляет значительные трудности, поскольку постоянная времени будет определяться суммой экспоненциальных свободных составляющих, число которых равно числу ветвей схемы замещения [2]. Данную задачу можно решить путем расчета дифференциальных уравнений, что затруднит анализ переходных процессов либо прибегнуть к применению систем моделирования, однако это потребует наличия соответствующих программных комплексов и навыков работы в них, что влечет за собой временные и денежные затраты.

В рамках данного доклада рассматривается оптимизация расчета времени до насыщения ТТ за счет оптимизации подготовительных расчетов, а именно упрощению расчета постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока подпитки несимметричного КЗ.

Предложен аналитический способ расчета постоянной времени постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока подпитки с применением исходных данных из АРМ СРЗА.

В докладе также представлены результаты расчета постоянной времени тока подпитки реальной схемы из АРМ СРЗА, разработанным способом. Полученные результаты подтверждены расчетом операторным методом, а также при моделировании в системе Matlab Simulink.

### **Литература**

1. **ГОСТ Р 58669-2019.** Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях.
2. **С.А. Ульянов.** Электромагнитные переходные процессы. М.: 1970.



*Р.М. Матвиенко, студ.;*  
*рук. Д.А. Матвеев, ст. преп., нс (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ОБМОТКЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 150 КВ**

Резонансные перенапряжения в обмотках силовых трансформаторов развиваются в тех случаях, когда частота колебательного переходного процесса в сети совпадает с одной из собственных частот колебаний обмоток. Изоляция силовых трансформаторов скоординирована с воздействиями коммутационных и грозовых перенапряжений, что проявляется в соответствующем выборе испытательных напряжений. Однако при определении их параметров резонансные перенапряжения не учитывались по причине малой вероятности их возникновения. С тех пор в сетях напряжением 110 кВ и выше произошел ряд изменений — широко применяются элегазовые распределительные устройства (РУ), трансформаторы соединяются с РУ с помощью кабелей или газоизолированных линий. Это приводит к снижению собственных частот колебаний сети при коммутациях. Конструкции трансформаторов также претерпели изменения — для обеспечения электрической прочности продольной изоляции катушечные обмотки изготавливаются с вплетением холостых витков, что приводит к увеличению собственных частот внутриобмоточных колебаний. Как следствие, собственные частоты колебаний сети и обмоток трансформаторов сближаются, что создает предпосылки для возникновения резонансных перенапряжений.

Докладываемая работа посвящена исследованию резонансных перенапряжений в обмотках трансформаторов при коммутациях в РУ подстанции с помощью численного моделирования. На основе полученных данных в программе EMTLab параметризуется широкополосная модель трансформатора [1], обеспечивающая расчет переходного процесса в обмотке совместно с внешней сетью.

По результатам численного моделирования выявлены области существования резонансных перенапряжений в рассматриваемом трансформаторе и установлено, что наибольшие воздействия возникают на межвитковой изоляции в зоне неоднородности катушечной обмотки.

### **Литература**

1. Широкополосная модель повышающего трансформатора в составе высокочастотного агрегата питания электрофильтров. А.В. Жуйков, М.А. Кубаткин, Д.А. Матвеев и др. // *Электротехника*, № 4, 2021, С. 22–30.

А.В. Чертовских, студ.;  
рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГАЗОВОГО ЗАЗОРА НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ БАРЬЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА

В настоящее время существует множество способов получения озона, но в данной работе рассматривается метод его получения в барьерном разряде, который исходя из [1] представляет наиболее значимый интерес в промышленности.

Параметры барьерного разряда зависят от величины и равномерности газового зазора, амплитуды, формы и частоты приложенного напряжения, рабочего газа и его давления и от других внешних факторов [1].

Для определения влияния неравномерности газового зазора был создан барьерный озонатор. На рис. 1 показана зависимость производительности озонатора от мощности разряда. Очевидно снижение выработки озона при неоднородном промежутке.

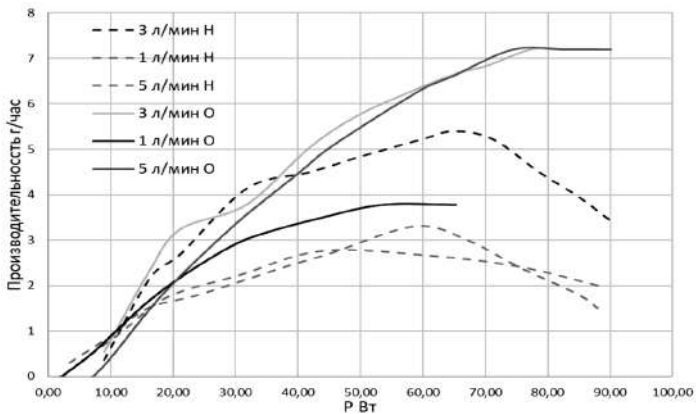


Рис. 1. Зависимость производительности озона от мощности разряда для однородного (О) и неоднородного промежутка (Н)

При сборке озонатора необходимо стремиться обеспечивать одинаковую толщину разрядного промежутка на всей длине электродов, что является проблемой, так как длина электродов может достигать нескольких метров, при это толщина газового зазора может составлять доли миллиметра.

### Литература

1. В.Г. Самойлович, В.В. Панин, Л.Н. Крылова Современные тенденции в конструировании промышленных озонаторов МГУ им. Ломоносова, химический факультет.

*М.Л. Волков, студ.; рук. Б.А. Сафронов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОЧЕРЕДЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ**

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) — часть автоматики ограничения снижения частоты в электроэнергетической системе (ЭЭС), предназначенная для предотвращения лавины частоты, которая может быть вызвана как общесистемным, так и локальным дефицитами активной мощности, посредством отключения части потребителей (нагрузки) ЭЭС. Однако отключаемая очередями мощность не всегда соответствует имеющемуся дефициту, вследствие этого может отключаться большее количество потребителей, чем требуется. В свою очередь это ведет к появлению профицита мощности, следовательно и к профициту частоты.

Данное исследование предполагает проведение анализа аварий, связанных со снижением частоты в ЭЭС, а именно: анализ отключенных очередями АЧР мощностей и имевшихся в этот момент дефицитов мощностей, сравнение этих мощностей и проверка возможности подбора состава очередей более близким к имевшемуся дефициту.

В последствии предполагается разработка алгоритма адаптивной АЧР, анализирующей мощности потребителей и перераспределяющей порядок их отключения по очередям (в зависимости от их текущей мощности) для отключения более близкого к возможному дефициту значению. Работа алгоритма будет основана на мультиагентном принципе и позволит формировать очереди под текущее состояние энергосистемы.

### **Литература**

1. **О.П. Алексеев, В.Е. Казанский, В.Л. Козис, Н.И. Овчаренко, Е.Л. Сиротинский.** Автоматика электроэнергетических систем // М.: Энергоиздат, 1981. — 480 с.
2. **Н.И. Овчаренко.** Автоматика энергосистем // М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 476 с.

*Д.В. Яковлев, студ.; конс. В.В. Воеводин, ст. преп.;  
рук. М.В. Соколова, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

## **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОННОГО И ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДОВ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ**

В настоящее время плазмохимические технологии интенсивно развиваются. Использование поверхностного (ПР) и коронного (КР) разрядов возрастает, так как им находят применение в различных технологических областях: стерилизация поверхностей, синтез озона или использование их в электрофильтрах. Но эти явления также могут оказывать пагубное влияние на изоляцию оборудования и работу ЭЭС. Например, ПР в изоляции оборудования может перейти из начальной стадии в скользящий разряд, что в последствии может привести к ее перекрытию, КР способен привести к увеличению объемного заряда вблизи проводов, из-за чего последует увеличение потерь ЭЭ на корону.

Характеристики ПР зависят от ряда факторов: параметров напряжения, осевшего на поверхность диэлектрика заряда, объемного заряда, структуры и материала диэлектрика [1]. А факторы, влияющие на КР — параметры напряжения, полярность и диаметр проводов, величина объемного заряда вблизи них [2].

Целью работы является сравнение разрядных характеристик в одинаковых условиях для различных форм разряда, рассматриваются основные факторы, влияющие на образование заряженных частиц, расстояние между коронирующими электродами и влияние на процесс образования объемного заряда дополнительного третьего электрода. Так же исследуется структура разряда при помощи метода электрографии.

### **Литература**

1. **М.В. Соколова и др.** Поверхностный электрический разряд в электротехнологический устройствах и в изоляционных конструкциях: Учебное пособие / Под ред. М.В. Соколовой. — 2-е изд. перераб. и доп. — М. Издательство МЭИ, 2018.
2. **В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь.** Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов / Под общ. ред. В.П. Ларионова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

*О.И. Коржова, студ.; рук. В.В. Воеводин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОННОГО ТОКА ИЗ ПЛАЗМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ**

В последнее годы импульсный поверхностный барьерный разряд (ИПБР) привлекает повышенное внимание из-за возможности его применения в следующих областях: в медицине для обеззараживания поверхности и разрушения вирусов и микробов; в аэродинамике, для уменьшения турбулентности течения воздуха и лобового сопротивления при создании ИПБР на передней кромке крыла; в очистке воды путём создания эффективных установок для генерации озона; в очистке выхлопных газов; в обработке и модификации полимерных поверхностей; в создании эксимерных ламп, не содержащих ртути.

Экспериментальная установка представляет из себя электродную систему с плоскопараллельным расположением электродов в воздухе [1]. На верхней стороне барьера, в зависимости от проводимого опыта, находятся один или два коронирующих электрода с расстоянием  $L$  между ними, подключенные к схеме генерации высоковольтных импульсов. На нижней стороне — нижний электрод, к которому приложено постоянное высокое напряжение. Третий (вытягивающий) электрод расположен параллельно поверхности барьера на расстоянии 10 мм и секционирован, для возможности определения пространственного распределения поступающих зарядов по его поверхности.

Размещение дополнительного второго коронирующего электрода на верхней стороне барьера осуществляется для оценки возможности создания наиболее равномерного распределения ионного тока на поверхности вытягивающего электрода.

В работе исследуется влияние на закономерности распределения ионного тока различных факторов, а именно количество коронирующих электродов на поверхности барьера, расстояние  $L$  между ними, также амплитуда приложенного высокого напряжения.

### **Литература**

1. V.Yu. Khomich, I.E. Rebrov, V.V. Voevodin et al. Spatio-temporal evolution of ion current extracted from pulsed dielectric barrier discharge // Journal of Physics D: Applied Physics. 2022. Vol. 55. № 27.

Д.В. Кукис, студ.; рук. Д.М. Бисеров (НИУ «МЭИ»)

## **НАСТРОЙКА АРВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЫДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ**

Принято считать, что для обеспечения статической устойчивости электроэнергетических систем с запасом устойчивости 20% во всех режимах можно использовать стандартные коэффициенты настройки АРВ. Однако при моделировании даже простой системы могут возникать случаи появления автоколебаний или расходящихся колебаний. Появление неустойчивых процессов в регулируемой системе обусловлено зависимостью вида характера электромеханического колебания от величины возмущения и предшествующим режимом [1].

Большое влияние на устойчивость работы оказывает АРВ: закон регулирования и коэффициенты звеньев могут как привести к повышению устойчивости системы и предела передаваемой мощности, так и сделать работу системы невозможной [2]. Для исследования регулируемой системы на устойчивость применяют корневые методы [3], которые дают весьма точные результаты.

Существуют методы для оптимального выбора коэффициентов АРВ в конкретном режиме, однако универсального метода для выбора коэффициентов во всём диапазоне мощности, выдаваемой генератором, найти достаточно сложно, так как требуется машинный расчет [4].

В работе было проведено моделирование в программном комплексе *PSCAD* простейшей системы электропередачи с целью исследования работы этой системы с различными видами АРВ и нахождения предела передаваемой мощности.

### **Литература**

1. **Литкенс И.В., Пуго В.И.** Колебательные свойства электрических систем — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 216 с.
2. **Жданов П.С.** Вопросы устойчивости электрических систем Ред. Л. А. Жуков . — М.: Энергия, 1979 . — 456 с.
3. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. — М.: Энергия, 1970. — 544 с.
4. **Анисимова Н.Д. и др.** Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем. Под ред. В.А.Веникова. — М.: Высшая школа, 1966. — 268 с.

*Д.С. Милютин, студ.; рук. В.В. Воеводин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ С ПОВЕРХНОСТНЫМ РАЗРЯДОМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

Электродные системы поверхностного барьерного разряда для управления газовыми потоками, также называемые плазменными актуаторами, являлись объектом множества исследований [1]. Механизм работы таких устройств заключается в образовании электрического ветра, следовательно, потока воздуха, который находится в электрогидродинамическом взаимодействии с внешними воздушными потоками. Результатом является то, что происходит достаточно эффективное преобразование электрической энергии в кинетическую энергию газового потока в приповерхностном слое [2].

Использование данного эффекта имеет огромный потенциал в авиации и электротехнологиях [3–5]. Он позволяет управлять воздушным потоком над поверхностью крыла, уменьшая лобовое сопротивление, тем самым затрудняя переход к турбулентности. Также его можно использовать для охлаждения поверхности чипов, что является очень перспективным методом отвода тепла.

В данной работе исследуются варианты модификации существующих электродных систем путём добавления дополнительных электродов с изменяемым потенциалом относительно основных коронирующих электродов, что может позволить увеличить скорость воздушного потока. Произведена серия расчетов, моделирование и создание плазменного актуатора, серия экспериментов с опытным образцом.

### **Литература**

1. **T.C. Corke, M.L. Post, D.M. Orlov**, Single dielectric barrier discharge plasma enhanced aerodynamics: physics, modeling and applications // *Exp Fluids* (2009) 46:1–26 DOI 10.1007/s00348-008-0582-5
2. **S.I. Moshkunov, S.V. Nebogatkin, I.E. Rebrov et al.** Electrohydrodynamic effect obtained in gas with a high-frequency dielectric barrier discharge // *Plasma Physics Reports*, 2012, Vol. 38, No. 13, pp. 1040–1045.
3. **S.P. Wilkinson**, Investigation of an Oscillating Surface Plasma for Turbulent Drag Reduction // *AIAA* 2003-1023
4. **N.E. Jewell-Larsen, S.V. Karpov, I.A. Krichtafovitch, et al.** Modeling of corona-induced electrohydrodynamic flow with COMSOL Multiphysics // *Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics* 2008, Paper E1
5. **N.E. Jewell-Larsen, H. Ran, Y. Zhang, et al.** Electro-hydrodynamic (EHD) cooled laptop // 2009 25th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 2009, pp. 261–266, 10.1109/STHERM.2009.4810773

*Гу Синьюань, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМА РАБОТЫ БАРЬЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА**

С ростом потребности в озоне все большее внимание обращают на эффективность синтеза озона, которая на сегодняшний день невысока. Повышение эффективности синтеза озона может значительно снизить его стоимость, позволяя озону играть более важную роль в различных областях народного хозяйства. Генерация озона с помощью барьерного разряда общепризнана как наиболее эффективный промышленный метод синтеза озона в мире [1]. В работе представлены параметры спроектированного на основе большого количества экспериментальных и эмпирических данных барьерного озонатора и его оптимальный режим работы.

Разработанный генератор озона с объемным барьерным разрядом использует кислород в качестве рабочего газа для синтеза озона и воду в качестве охлаждающей жидкости. В качестве материала барьера была выбрана глиноземная керамика, а в качестве материала электрода — алюминий. Несмотря на то, что алюминий не является озоностойким материалом, его использование допустимо, так как при первичном контакте с озоном поверхность электродов покрывается тонким слоем оксида алюминия, который может работать в среде озона сколь угодно долго. При этом высокая теплопроводность алюминия позволяет эффективно отводить тепло из разрядного промежутка.

Основные параметры разработанного генератора озона приведены ниже:

- Производительность озонатора — 20 г/час;
- Концентрации озона — 50 г/м<sup>3</sup>;
- Мощность — 200 Вт;
- Диаметр электродов — 160 мм;
- Рабочее напряжение — 3,5 кВ, 15 кГц;
- Расход газа — 6,7 л/мин;
- Расход охлаждающей воды — 1 л/мин.

При заявленных параметрах озонатор позволяет синтезировать озон с энергозатратами, не превышающими 10 кВт·ч/кг. При этом для охлаждения используется обычная водопроводная вода и не требуется дополнительная энергия на ее захолаживание.

### **Литература**

1. Лунин В.В., Карягин Н.В., Ткаченко С.Н., Самойлович В.Г. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов. (2008).



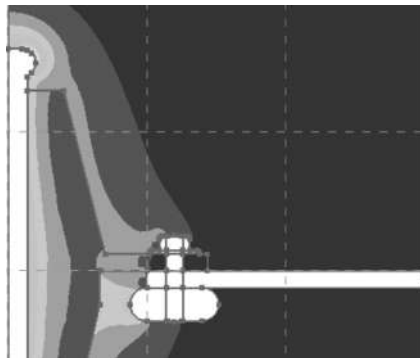
*Д.С. Петров, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

## **РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ СИСТЕМЫ ВВОДА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА**

Генерация озона широко распространена в науке и промышленности, и на сегодняшний день идёт активное внедрение крупных промышленных озонаторов в производства. Электроды разрядной ячейки получают питание через высоковольтный ввод. Особое внимание уделяется недопустимости развития разрядных процессов на поверхности проходного изолятора и стойкости конструкции к озону.

Целью работы является расчёт электрического поля в системе высоковольтного ввода озонатора и создание его эскиза, используя возможности программы BETAFields для расчёта полей в аксиально-симметричных системах.

Результатами работы являются полученное распределение напряженности электрического поля высоковольтного ввода, и выбранные на его основе оптимальные размеры конструкции ввода, при которых в толще изоляции и на ее поверхности не возникает разрядных явлений. При расчёте поля появляются локальные повышения напряженности, которые могут быть снижены с помощью экранирования. На рис. 1. приведено распределение электрического поля в высоковольтном вводе генератора озона.



**Рис. 1.** Распределение напряженности электрического поля в высоковольтном вводе

### **Литература**

1. **Колечицкий Е.С.** Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 168 с.

*Е.Б. Асмыкович, В.С. Дубовик, аспиранты;  
рук. А.А. Волошин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ**

Электроэнергетическая сфера представляет собой совокупность подсистем включающих в себя оборудование, информационные сети и огромное количество различных программ, служащих для упрощения работы оборудования и для взаимодействия между человеком и машиной.

Участие человека может нести вред, так как по статистике на долю «человеческого фактора» приходится 3% ошибок. На данный момент основные пути перехода к автоматизации процессов конфигурирования файлов-данных в электроэнергетике прокладываются при помощи генетического программирования, генетических алгоритмов, low-code программирования и метода на основе тестирования — Test Driven Development.

В работе проанализированы методы генетического программирования и генетических алгоритмов. Оба метода относятся к одному из направлений искусственного интеллекта. Они используют общий подход к решению задач, основанный на принципах естественного отбора и наследования.

Основным структурным различием между методом генетического программирования и методом генетических алгоритмов является их представление. Генетические алгоритмы можно представить в виде списка операторов и значений. Наиболее популярный способ отображения — в виде строк.

Методы генетического программирования могут использоваться при создании структур нейронных сетей, без правил, основанных на чёткой логике, и символьных выражений. Генетические алгоритмы чаще применяются для настройки весовых коэффициентов, параметров символьных выражений и буквенных переменных.

### **Литература**

1. **Осипов Г.С.** Методы искусственного интеллекта. М. : Физмалит, 2011. 296 с.
2. **Рассел Стюарт, Питер Норвинг** Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. М. : Вильямс, 2006. 1408 с.
3. **Тарасов В.Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

А.В. Клубков, асп.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ОЗОНА С НЕОДНОРОДНЫМ РАЗРЯДНЫМ ПРОМЕЖУТОКОМ

В последнее время озонные технологии находят все большее применение. Наиболее популярными являются технологии электросинтеза озона с использованием барьерного разряда. Генератор озона (ГО) в простейшем варианте представляют в виде двух металлических электродов, разделенных между собой твердым диэлектриком и газовым зазором (ГЗ). При достижении напряжением на ГЗ значения

напряжения зажигания разряда происходит его пробой. Напряжение при этом остается постоянным в течении всего времени горения разряда. Обычно при компьютерном моделировании ГО его схема замещения строится из последовательно соединённых ёмкости диэлектрического барьера и ёмкости ГЗ. А возникновение разряда в ГЗ моделируют обычно либо при помощи двух параллельно включенных диодов, либо варистором. Кроме того, в промышленных ГО необходимо учитывать неравномерность ГЗ [1]. Это обеспечивается разбиением ГО на  $n$  параллельных ячеек со своими емкостями ГЗ  $C_{Г}^k$  и напряжениями зажигания  $U_{Г}^k$ . На рисунке 1 представлены резонансные кривые полученные при численном моделировании ГО с однородным и неоднородным ГЗ в программе ATPDraw. По полученным зависимостям видно существенное отличие идеального ГО от реального.

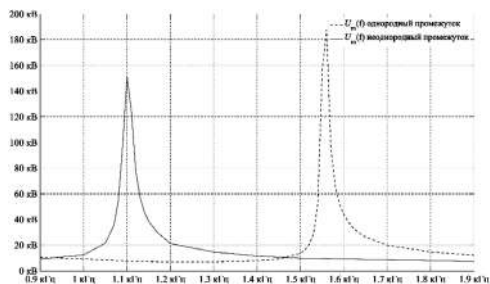


Рис. 1. Резонансные кривые ГО с однородным и неоднородным газовым зазором

### Литература

1. Гибалов В.И., Лысов Н.Ю., Темников А.Г., Шмелёв А.Я., Корса-Вавилова Е.В., Белова О.С., Черненский Л.Л., Орлов А.В., Кившар Т.К., Ковалев Д.И., Воеводин В.В. Характеристики барьерного разряда как элемента электрической цепи // Журнал Электротехника, 2021, № 8.

*В.Г. Карантаев, к.т.н.; В.И. Карпенко, К.В. Латышов, аспиранты;  
Д.О. Михайлов, Л.М. Рыжкова, студенты (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ИЭУ РЗА**

На сегодняшний день одним из действующих нормативно-технических документов (НТД), задающих требования к проектированию цифровых подстанций является СТО ПАО «Россети» 34.01-21-004-2019 [1], НТД содержит описание группового устройства релейной защиты и автоматики (РЗА). Вопросом возможного применения виртуальных интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) РЗА посвящен проект технической брошюры рабочей группы IСIGRE В5.60, однако на практике данному вопросу не уделяется должного внимания. Дополнительным подтверждением актуальности является выделение отдельного проекта для энергетики, в частности Linux Foundation Energy, внутри международной организации разработчиков Linux, с целью применения в качестве встраиваемой операционной системы (ОС) для контроллеров автоматики, ИЭУ РЗА, как физических, так и виртуальных.

Данная разработка должна привести к повышению надежности функционирования подсистемы РЗА и снизить затраты на её реализации.

Сегодня наибольшего уровня развитие встраиваемых ОС в отечественной энергетике достигла компания PLC Technology с операционной системой Toraz Linux [2], однако компания не занимается созданием виртуальных терминалов РЗА.

На мировом рынке выделяются операционные системы Integrity, VxWorks и QNX, но, в соответствии с указом Президента Российской Федерации № 166 от 30.03.2022 [3], применение иностранного программного обеспечения на объектах КИИ не является возможным.

### **Литература**

1. **СТО 34.01-21-004-2019** Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ — М., ПАО Россети, 2019. — 96 с.
2. Технологическая операционная система «Toraz Linux». Руководство пользователя [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://tpz.ru/RE/scada\\_РУКОВОДСТВО\\_ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ](http://tpz.ru/RE/scada_РУКОВОДСТВО_ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ) (дата обращения 06.11.2022).
3. Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

*М.С. Малютин, асп., Е.А. Волошин, соиск.;  
рук. А.А. Волошин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ КОМПЛЕКСА РЗА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Несмотря на активное обсуждение и пилотное внедрение проектов высокоавтоматизированных подстанций и цифровых районов электрических сетей по данным на начало 2022 года на объектах ПАО «Россети» более 78% устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) выполнены на электромеханической элементной базе [1]. Для распределительных сетей классом напряжения 6–110 кВ этот процент ещё выше. Массовому тиражированию цифровых технологий в электросетевом комплексе мешает несколько факторов, а именно, нехватка компетенций у персонала, дороговизна как в построении, так и обслуживании таких систем и необходимость решения проблем, связанных с информационной безопасностью. Немаловажным также является статистика от АО «СО ЕЭС», согласно которой процент неправильной работы у микропроцессорных устройств РЗА выше, чем у электромеханических.

При замене устаревших устройств РЗА перспективным видится возможность перехода с децентрализованной архитектуры комплекса РЗА на централизованную «над объектную» архитектуру. В этом случае на объектах достаточно устанавливать измерительные преобразователи с модулями 5G/6G [2], которые будут передавать аналоговые и дискретные сигналы в цифровом виде по беспроводным каналам связи в центры управления сетями (ЦУС), где и будут работать алгоритмы РЗА. Для защиты от подмены трафика должна применяться передача специальных хэш-функций.

Реализовывать подобный подход нужно в комплексе с внедрением системы автоматической разработки и настройки алгоритмов РЗА распределительных сетей [3]. Все это позволит существенно сократить операционные затраты и повысить уровень надежности комплекса РЗА.

### **Литература**

1. ПАО «Россети», Концепция развития РЗА и АСУ ТП электросетевого комплекса ПАО «Россети», 2022.
2. Еремеев А.А. О применении технологии 5G в автоматизации распределительных электросетей // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. — 2021. — № 3. — С. 107–114.
3. Шарыгин М.В., Куликов А.Л., Фальков А.А. Автоматизация расчета адаптивной многопараметрической релейной защиты для реконфигурируемых распределительных сетей // Релейщик. — 2022. — № 1(42). — С. 12–16.

*А.А. Зайцев, Д.А. Пушкарь, студенты;  
рук. С.О. Попов, к.т.н., доц. (СПбПУ, СПб)*

## **МЕТОДИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ ОШИБОК В СИСТЕМЕ РЗА**

Система релейной защиты и автоматики (РЗА) является ответственной и сложной системой, к которой предъявляются самые высокие требования по надежности работы. С постепенным внедрением цифровых технологий в энергетический комплекс повышается наблюдаемость системы РЗА, что обуславливает возможность повышения степени автоматизации процессов её диагностики. Применение машинных алгоритмов локализации ошибок поможет снизить риски неправильных действий системы РЗА.

При локализации ошибок важной задачей является определение минимального необходимого и достаточного списка сигналов для оценки работы системы РЗА, с целью уменьшения нагрузки на систему контроля за системой РЗА. При этом должна быть возможность локализации ошибок с точностью до элемента и параметра при ошибочных действиях.

Одной из важных задач работы является проработка структуры системы РЗА и ее детализация с разделением на элементы и подсистемы [1]. При этом в основу разбиения ложиться, как аппаратное, так и функциональное представление системы. Ключевым критерием выделения элемента системы является наблюдаемость его внутренней структуры. При ее отсутствии элемент дальше не дробится, а описывается только требованиями к функционированию при различных входных сигналах. При известной внутренней структуре он представляется уже как подсистема, объединяющая элементы посредством наблюдаемых связей.

В качестве инструмента для генерации данных предлагается использовать цифровой двойник системы РЗА. Расчетные наборы сигналов при сравнении с полученными с объекта при возмущении данными позволяют локализовать место ошибки в случае ее наличия [2]. Данный алгоритм может быть автоматизирован, что повышает эффективность процесса анализа работы систем РЗА при возмущениях.

Имитация ошибок внутри модели цифрового двойника с использованием методов комбинаторики обуславливает возможность автоматически определять минимальный объем наладочных испытаний.

### **Литература**

1. **Шалин А.И.** Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем // Новосибирск. Издательство НГТУ, 2002, 384 с.
2. **Д.В. Моисеев, Н.А. Галанина, Н.Н. Иванова,** Проектирование архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА // ДНДС-2021, Чебоксары.

*Д.О. Алексеев, С.Н. Хаустов, студенты;  
рук. А.В. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ТОКА В СКОЛЬЗЯЩЕМ РАЗРЯДЕ**

Скользящий разряд — разновидность импульсного искрового разряда по поверхности диэлектрика. Представляет собой частичную ионизацию воздуха вдоль поверхности диэлектрика и имеет вид ярко светящихся нитей, часто разветвленных, быстро перемещающихся (скользящих) по этой поверхности. Обычно появляется в конструкциях проходных изоляторов, значительно реже и в меньшей степени — в некоторых типах опорных изоляторов. Скользящие разряды в большинстве конструкций предвещают возникновение разряда по поверхности изолятора. Таким образом, развитие поверхностных разрядов приводит, в конце концов, к разряду по поверхности изолятора. Скользящий разряд находит полезное применение в низкоиндуктивных силовых коммутаторах, импульсных газовых лазерах, а также других приборах и устройствах. Поэтому моделирование этого разряда может найти своё применение в промышленности.

В докладе представлен анализ картин распределения плотности тока в разряде по поверхности диэлектрика. В ходе работы в программном комплексе Comsol Multiphysics была создана модель скользящего разряда и исследовано распределение плотности тока в нём. Разряд моделировался проводником, лежащим на поверхности диэлектрика.

Полученные в ходе работы результаты могут быть применимы в улучшении конструкции изоляторов, а также помогут лучше понять природу поверхностного разряда.

### **Литература**

1. **Стекольников И.С.** Природа длинной искры. — М.: Издательство Академии наук СССР, 1960.

*Д.А. Коледа, А.В. Санкин, студенты;  
рук. С.О. Попов, к.т.н., доц. (СПбПУ, СПб)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ РЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Уровень сложности системы РЗА и соответствующий объем данных, достоверно характеризующих ее работу в различных режимах, обуславливает практическую невозможность автоматизации оценки проектных решений без использования модели системы РЗА.

Модель системы релейной защиты и автоматики на стадии её проектирования представляет из себя цифровой проект, который может воспроизводить работу системы в соответствии с предъявляемыми требованиями в различных режимах [1]. Его использование позволяет уже на стадии проекта найти и исключить ошибки в выборе комплектов защит и их уставок, на стадии рабочей документации провести проверки заданных связей между функциональными блоками, воспроизвести процесс наладки системы перед её вводом в эксплуатацию. В рамках данного исследования была разработана модель системы РЗА с целью её применения для проверки готовых проектных решений. В ходе реализации были обнаружены некоторые ошибки в документации проекта, например в построении ЛЗШ путем передачи GOOSE сообщения, выявление которых без модели возможно только во время эксплуатации [2].

В ходе разработки была обеспечена работа модели в темпе реального времени, что позволило обеспечить подключение терминала к моделируемой системе РЗА. Данная модель легла в основу стенда для тестирования функций микропроцессорного терминала требующих коммуникации нескольких терминалов по промышленным протоколам передачи данных.

На данном этапе в модели воспроизведены основные решения проекта существующей подстанции, достигнуто выполнение в темпе процесса моделей 5 терминалов РЗА. В дальнейшем необходима проработка методики автоматизированных алгоритмов испытаний, что позволит оптимизировать процесс принятия решения в проектировании релейной защиты.

### **Литература**

1. **Моисеев Д.В., Галанина Н.А., Иванова Н.В.** Проектирование архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА // Вестник Чувашского университета. — 2021. — № 1. — С. 99–110.
2. **Волошин А.А., Лебедев А.А., Благоразумов Д.О., Вальгер В.А.** Формализация функциональных требований к релейной защите и автоматике цифровой подстанции // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. — 2022. — № 5. — С. 30–38.



*Д.О. Алексеев, С.Н. Хаустов, студенты;  
рук. А.В. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА НАГРЕВА ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКА СКОЛЬЗЯЩИМ РАЗРЯДОМ**

В высоковольтных устройствах практически неизбежно совместное использование газообразных и твердых диэлектриков. Вдоль поверхности их раздела при определенных условиях могут создаваться возможности возникновения скользящего разряда или разряда по поверхности диэлектрика. Скользящий разряд в форме искры может перекрыть расстояние между электродами по поверхности диэлектрика и при достаточной мощности источника питания завершиться дуговым разрядом. Каналы искрового и тем более дугового разрядов имеют высокую температуру (тысячи градусов). Длительное действие может вызвать повреждение материала, из которого состоят изоляционные конструкции, вследствие концентрированного теплового эффекта. Предупреждение опасности возникновения разряда по поверхности представляет одну из существенных задач при конструировании изоляционных устройств.

В ходе работы производилось моделирование скользящего разряда в программном комплексе Comsol Multiphysics. Проводник, лежащий на поверхности диэлектрика, заменял разряд по поверхности. Производились измерения температур и характер их распределения на поверхности диэлектрика.

Предложенная модель позволяет определить температуры, возникающие на поверхности диэлектрика, при протекании по нему поверхностного разряда. Это помогает оценить степень воздействия данного эффекта на разные материалы диэлектрика.

### **Литература**

1. **Стекольников И.С.** Природа длинной искры. — М.: Издательство Академии наук СССР, 1960.

*А.В. Иванов, студ.; рук. Л.Л. Черненский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ИМПУЛЬСОВ ТОКА РАЗРЯДА ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ГРОЗОВОГО ОБЛАКА**

Исследование молнии является актуальной задачей в наше время. Связано это с тем, что поражение молнией наземных объектов (например, высоковольтного оборудования подстанций) или летательных аппаратов (например, самолёта) может повлечь за собой огромные убытки или привести к катастрофе и к гибели экипажа и пассажиров. Всё это объясняет интерес к изучению физики молнии и молниезащиты. Для изучения молнии используются различные методы, одним из которых является создание установки, позволяющей моделировать развитие молнии в лабораторных условиях. Примером такой установки является экспериментально-измерительный комплекс «Гроза», расположенный на кафедре ТЭВН НИУ «МЭИ» и позволяющий создавать заряженные водные аэрозольные образования с плотностью заряда, которая обеспечивает возникновение протяженных канальных электрических разрядов.

Результаты экспериментов необходимо обрабатывать и анализировать. Поэтому не менее актуальной и важной задачей является правильная подготовка и обработка экспериментальных данных. При анализе токов молнии и сигналов электромагнитного излучения, зафиксированных осциллографами, возникает проблема, заключающаяся в наличии цифрового шума. Он искажает реальный сигнал, затрудняет анализ данных и может вносить серьёзные погрешности в спектральные характеристики полученных сигналов. В докладе рассматривается возможность усовершенствования процесса анализа импульсов тока разряда из искусственного грозового облака, заключающаяся в применении различных методов сглаживания сигнала путём избавления от цифрового шума или его ослабления. При этом в результате сглаживания не должны измениться параметры импульса разрядного тока из искусственного облака и его спектральные характеристики.

Для фильтрации сигнала, имеющего в своём составе цифровой шум, используются различные методы: дискретное преобразование Фурье, цифровые и адаптивные фильтры [1]. В докладе исследуется влияние методов цифровой обработки сигналов на параметры импульсов тока разряда, полученных на установке «Гроза».

### **Литература**

1. Солонина А.И., Клионский Д.М., Меркучева Т.В., Перов С.Н. Цифровая обработка сигналов и MATLAB. БХВ-Петербург, 2013.

*С.А. Успанов, асп.;*  
*рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ВЫБОР ЗНАЧЕНИЯ РЕЗИСТОРА В ЦЕПИ С КОДОИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НАЛОЖЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ 10 КВ**

Актуальность темы заключается в ужесточении требований к РЗ при ОЗЗ в части обеспечения безопасности людей и территории России, что является решением совещания Совета Безопасности РФ, состоявшегося 11 сентября 2020 года [1].

Научная новизна и личный вклад автора заключаются в разработке ряда технических решений для РЗ при ОЗЗ с коммутацией маломощного резистора на основании результатов её моделирования, а также рекомендаций по выбору значения сопротивления резистора контура искусственного кратковременного двухместного повреждения, обеспечивающего по условию отстройки от самозапуска асинхронных двигателей (АД), бросков намагничивающего тока (БНТ) при включении силового трансформатора, режима качаний в системообразующей сети, питающей наш объект (радиальная сеть 10 кВ) селективность и чувствительность РЗ.

В докладе рассматривается новый алгоритм релейной защиты (РЗ) при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), который базируется на корреляционных токовых реле с применением импульсного включения маломощного резистора для создания наложенного тока [2]. Также приводится экспериментальная проверка рассматриваемого алгоритма на математической модели воздушной радиальной электрической сети и отсутствии ограничения на схему и параметры первичной сети с учетом выбора оптимального значения сопротивления резистора в контуре искусственного создаваемого кратковременного двухместного повреждения для обеспечения чувствительности и селективности РЗ на базе корреляционных токовых реле с учетом отстройки от качаний в питающей системообразующей сети, самозапуска двигательной нагрузки, БНТ [3].

### **Литература**

1. **Арцишевский Я.Л., Балашов В.В.** Релейная защита и электробезопасность персонала энергокомпаний и населения // Энергоэксперт. 2020. № 4. С. 64–67.
2. **Арцишевский Я.Л., Баяр Б.Э., Балашов В.В.** Ступенчатая корреляционная защита при ОЗЗ с коммутацией маломощного резистора в сети 6–35 кВ // Релейная защита и автоматизация. 2020. № 3. С. 26–29.
3. **Федосеев А.М., Федосеев М.А.** Релейная защита электроэнергетических систем. – Москва Энергоатомиздат, 1992. — 528 с.

*Д.А. Романов, студ.; Р.С. Максимов, асп.;  
А.А. Лебедев, к.т.н., рук. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АНАЛИЗАТОРА СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ РЗА**

Широкая волна цифровизации в Российской Федерации коснулась большого количества отраслей промышленности, в т.ч. и электроэнергетики. Инновационным в данной отрасли стало появление цифровых подстанций (ЦПС), в основе технологий которых лежит стандарт МЭК 61850. В рамках этого стандарта устройства контроля, управления и РЗА обмениваются технологическими данными по различным цифровым протоколам связи, таким как *Sampled Values*, *GOOSE*, *MMS*, *S37.118* и пр [1].

На данный момент различные виды ПО для поиска и анализа пакетов, предназначенного специально для инженеров РЗА, имеют ограниченный функционал и не позволяют одновременно анализировать данные, которые передаются по разным цифровым протоколам, что затрудняет анализ в целом. Это обстоятельство вызывает необходимость разработки специального ПО, удовлетворяющего вышеуказанному требованию, и с необходимыми функциями: чтение, отображение данных и их регистрация в форматах *csv*, *COMTRADE*). Разработанное ПО позволяет настроить длительность, условия записи осциллограммы, а также набор необходимых сигналов в осциллограмме, передающихся по разным протоколам от разных устройств.

Анализатор, по сетевому трафику, в режиме реального времени или по обращению к файлу в формате *PCAP* считывает полученные кадры и фиксирует данные о токах, напряжениях и дискретных сигналах. Реализованный анализатор обеспечивает быстрый и лёгкий доступ к данным, а также наглядное их представление в удобной для анализа форме, упрощает процесс наладки оборудования, способствует улучшению качества технического контроля работоспособности локально-вычислительных сетей, а также снижает аварийность за счет упрощения анализа разнородного сетевого трафика цифровой подстанции.

### **Литература**

1. **СТО 56947007-29.240.10.256-2018** «Технические требования к аппаратно-программным средствам и электротехническому оборудованию ЦПС».

**Секция 57**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**  
**Theoretical basis of electrical engineering**

---

*Председатель секции:*

*д.т.н., член-кор. РАН Бутырин Павел Анфимович*

*Секретарь секции: к.т.н., доцент Жохова Марина Павловна*

Н.В. Горелов, студент; рук. М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ДИАГНОСТИКА НЕОДНОРОДНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛИННОЙ ЛИНИИ КАСКАДНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

В докладе рассматривается задача диагностики неоднородности в линии с потерями при моделировании ее каскадным соединением четырехполюсников [1]. Данная тема является актуальной, так как знание где и какого рода неоднородность возникла в линии, позволит определить причину ее возникновения и методы устранения до проведения ремонтных работ. В работе использована методика определения минимальной длины участка линии для корректного моделирования [2].

Разработана методика определения матрицы А-параметров неоднородного участка, расчета параметров схемы замещения неоднородного участка; проведена оценка точности расчета и предложен метод ее повышения. На рис. 1. приведен пример моделирования линии с потерями без и при наличии неоднородности при условии, что линия нагружена на сопротивление, численно равное волновому.

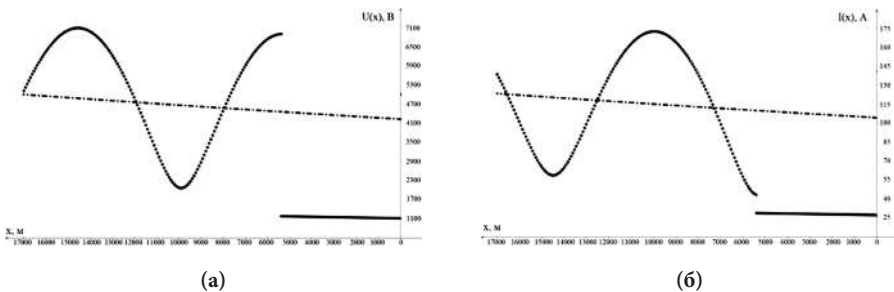


Рис. 1. Распределение действующего значения напряжения (а) и тока (б) вдоль линии без неоднородности (штрихпунктирная линии) и при ее наличии (пунктирная линия)

### Литература

1. **К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.** Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 2 — СПб.: Питер, 2003.
2. **Н.И. Паскалов, А.Р. Байбиченков.** Моделирование длинной линии с потерями каскадным соединением четырехполюсников // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать пятая Международ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2019. — С. 965.

*Д.С. Беднов, Е.А. Кутарев, студ.;  
рук-ли Д.В. Михеев к.т.н., доц.;  
М.П. Жохова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ**

Для анализа энергетических соотношений при периодических напряжениях и токах используют мгновенную мощность

$$p(t) = u(t)i(t)$$

и составляющие мгновенной мощности [1]. Традиционно в линейных цепях синусоидального тока определяют среднее значение мгновенной мощности за период — активную мощность

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} p(t) dt$$

При рассмотрении вопросов повышения энергетической эффективности ряда электротехнических устройств целесообразно использовать дополнительные интегральные характеристики, рассматривая как весь период, так и отдельные участки изменения мгновенной мощности [2].

В работе рассмотрены интегральные характеристики мгновенной мощности для линейных цепей: среднее значение отрицательных ординат мгновенной мощности (мощность рекуперации)

$$N_Q = \frac{2}{T} \int_0^{t_0} p(t) dt ;$$

среднее значение положительных ординат мгновенной мощности (располагаемая мощность потребителя)

$$N_S = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{T/2} p(t) dt ;$$

$$\text{мощность диссипации источника } N_P = N_S + N_Q = P;$$

$$\text{мощность рекуперации источника } N_{II} = N_S - N_Q.$$

В случае нелинейных цепей, например, при наличии преобразовательных устройств, определяется также среднее значение условных ординат кривой мгновенной мощности на временном интервале, соответствующем процессу фазового управления

$$N_C = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} p(t) p dt ,$$

суммарная мощность источника  $N_{\Sigma} = N_{II} + N_C = N_S - N_Q + N_C$ .

### Литература

1. **К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.** Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том. 1 — СПб.: Питер, 2003.
2. **А.В. Новосельцев, М.Т. Стрелков.** Метод мгновенных мощностей и составляющие полной мощности в трехфазных электрических цепях. Предпринт — 464 ИЭД АН УССР, Киев, 1986, 59 с.



Д.А. Романов, студ.; И.С. Польшалин, студ.; Р.С. Максимов, асп.;  
рук. Козьмина И.С., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

## **РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»**

Постоянно растущая популярность компьютерных технологий в области электроэнергетики требует от современного специалиста навыки владения различными комплексами математического моделирования. Развивать данные навыки можно на этапе обучения в вузе. Помимо изучения языков программирования и программ математического моделирования в рамках специализированных предметов, указанные выше навыки возможно и в «классических» дисциплинах, таких как «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ).

В связи с этим целью данной работы стала разработка виртуального лабораторного комплекса, в котором можно выполнять лабораторные работы по ТОЭ из курса лабораторных работ ТОЭ НИУ «МЭИ».

Лабораторный комплекс разработан на базе отечественного комплекса компьютерного и математического моделирования *SimInTech*. Основными достоинствами данного комплекса является простота использования, доступность, наличие необходимой элементной базы с возможностью задания большого количества параметров, что обуславливает значительную точность и достоверность полученных результатов.

С помощью разработанного комплекса возможно проведение лабораторных работ в том числе и в дистанционном формате, что открывает новые возможности в методологии преподавания данной дисциплины как в очном, так и в заочном формате.

В рамках работы также проводились исследования для определения степени достоверности полученных результатов. Исследования проводились на базе лабораторного комплекса кафедры «Теоретических основ электротехники» НИУ «МЭИ».

Для корректного выполнения студентами лабораторной работы, быстрого обучения и получения дополнительных навыков владения комплексом моделирования *SimInTech*, были составлены специализированные методические материалы.

### **Литература**

1. Козьмина И.С., Энтентеев А.Р., Максимов Р.С. Индивидуальный подход к обучению и контролю знаний студентов // Труды 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ 23–29 ноября 2020 года. Гуманитарные науки и педагогика. — Москва: МФТИ, 2020. — 87 с.

**Направление XII**

**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА  
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ  
Hydropower and renewable  
energy sources**

---

**Руководитель направления:**

Директор института гидроэнергетики  
и возобновляемых источников энергии,

к.т.н., доцент

Шестопалова Татьяна Александровна

**Секция 58**  
**ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ**  
**ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**  
**Hydropower and renewable energy sources**

---

*Председатель секции:*

*к.т.н., доцент Шестопалова Татьяна Александровна*

*Секретарь секции: Кунакин Дмитрий Николаевич*

*М.А. Разаков, ассистент (НИУ «МЭИ»)  
ст. преподаватель («МГУПП», Москва)*

## **О ПРОЕКТНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ**

На данный момент одними из приоритетных направлений в исследованиях считаются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Ученые занимаются как повышением эффективности технологий ВИЭ так и созданием точных методик прогнозирования и моделирования выработки энергии. К сожалению, потребители энергии мало исследуется в настоящее время. За последние 50 лет в данном направлении изменилось многое и сейчас тоже продолжает изменяться. Примером может служить удельная мощность подводимых ресурсов. До 1991 года на 1 квартиру приходилось порядка 3,5 кВт мощности электрической энергии, а теперь эта цифра возросла в 2,15 раз и составляет в среднем 7,5 кВт. Это явление произошло из-за роста количества бытовой техники и возросшего внедрения системы автоматизации различных процессов. Помимо роста мощности электрической энергии, происходит и рост мощности тепловой энергии на здание. Этот факт объясняется повышением норм жилой площади на 1 человека и устареванием инженерных систем. Стоит отметить, что рост мощности систем мог быть и выше, но внедрение энергосберегающих мероприятий помогает снижать данный показатель. Для анализа места использования ВИЭ необходимо понимание энергопотребления и мощности всех абонентов и потребителей, где планируется их использование. В данный период данной проблемой для инженерных систем зданий и сооружений занимаются В.И. Прохоров и ряд других авторов [1–3]. Итогом их совместной работы является создание методики расчета удельной энергетической характеристики здания, которая может быть применена для анализа возможности применения определенного вида ВИЭ.

### **Литература**

1. **Prokhorov V.** Method of systematic determination of specific thermal characteristics of building // В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2016. С. 04068.
2. **Прохоров В. И., Латушкин А.П.** Удельная тепловая характеристика здания для различных теплопотребляющих систем жизнеобеспечения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 72–75.
3. **Prokhorov, V.I.** Calculation method of heat consumption for buildings life support systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 365. С. 022023.

К.Е. Денисов, асп.;  
рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

## УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИИ ЛОПАСТЕЙ

Зачастую применение центробежных лопастных насосов в специальных гидравлических системах требует возможности регулирования подач в широких диапазонах. По причине того, что у типового центробежного насоса средней быстроходности диапазон высокой энергоэффективности довольно узок (рис. 1), возникают негативные эффекты от его работы в неоптимальных режимах. Например, при работе с превышением установленной подачи может наблюдаться кавитация, повышенные шум и вибрация насоса, а также увеличиваются нагрузки на вал и подшипниковые узлы. С другой стороны, падение подачи насоса ниже установленного значения также приводит к негативным явлениям, связанным с нарушением гидродинамики потока. Всё это, безусловно, снижает ресурс гидроагрегата и желательно не допускать его длительной работы в таких режимах. Однако, для тех случаев, когда это невозможно и предъявляются требования к высокому ресурсу насоса, предлагается решение по конструктивной модернизации центробежных рабочих колёс путём внедрения механизма поворота каждой лопасти относительно некоего своего геометрического центра. Поворот лопасти позволит добиться одновременного изменения углов её установки на входе и на выходе, что также даст возможность регулирования диффузорности межлопастного канала. Предполагается, что, имея возможность таким образом изменять геометрию межлопастного канала во время работы насоса, получится добиться увеличения его энергоэффективности в режимах низких и высоких подач без каких-либо потерь в оптимуме.

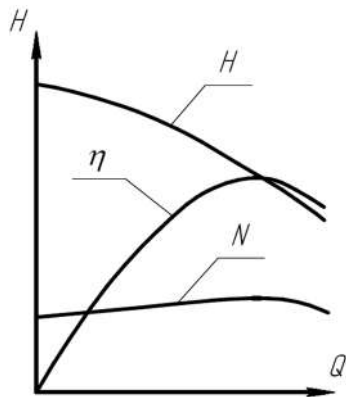


Рис. 1. Теоретические характеристики центробежного насоса средней быстроходности

Е.А. Дворяшин, студ.;  
рук. А.В. Третьяков, к.т.н. доц. (ГУ «Дубна», Дубна)

## СПОСОБ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ВЭТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Ветроэлектродгенератор или ВЭУ — сложное техническое устройство, работающее в квазистатическом режиме (непрерывный поиск баланса вырабатываемой и потребляемой мощности [1]). Для достижения баланса необходимо непрерывно управлять угловой скоростью вращения ветроколеса (ВК) или генератора. ВК и генератор, соединенные через мультипликатор, представляют собой систему генерирования электроэнергии (СГЭЭ).

Существуют различные подходы к управлению работой СГЭЭ: с постоянной частотой вращения ВК; с несколькими фиксированными частотами; с переменной частотой вращения ВК. Для достижения рентабельности ВЭУ важно среднегодовую выработку получить максимальной. В работе показана возможность оптимизации значения глубины регулирования в режиме с переменной частотой вращения по этому критерию. Оптимизацию проще производить для ВЭУ с определенными геометрическими и энергетическими характеристиками, поскольку разные ВЭУ могут иметь различные оптимальные значения этого параметра.

При различных значениях глубины регулирования градиент снижения электрической мощности на ВК, вызванный уменьшением скорости ветра изменяется (рис. 1). Это влияет на величину среднегодовой выработки электроэнергии, определенной по методике [2]. Результат сравнения годовых выработок для трех значений глубины регулирования приведен на рис. 2.

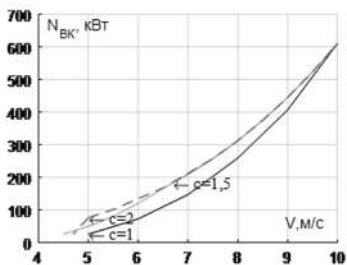


Рис. 1. Изменения мощности при различных значениях глубины регулирования:  $c$

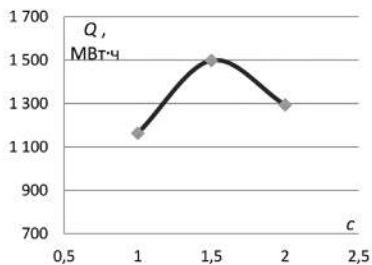


Рис. 2. Среднегодовая выработка электроэнергии:  $Q$

### Литература

1. Боровиков Ю.С., Гусев А.С., Андреев М.В. и др. Автоматика энергосистем. Томск: Томский политехнический университет, 2015.
2. Третьяков А.В., Пискунова О.И. Проектирование системы автоматического управления ветроэнергетической установкой. Дубна: Университет «Дубна», 2022.

*В.С. Машинкин, студ.;*  
*рук. А.В. Третьяков, к.т.н. доц. (ГУ «Дубна», Дубна)*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Актуальной научно-технической задачей является эффективное использование энергии ветра, которая заключается не только в улучшении аэродинамических характеристик ветроэнергетической установки (ВЭУ), но и в повышении надежности и увеличении производительности ВЭУ.

Исследуется система генерирования электроэнергии ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Система состоит из соединенных общим валом: ветроколеса (ВК), мультипликатора, электромагнитной муфты (ЭМ) и генератора. Управление работой системы осуществляют два пропорционально-дифференциальных регулятора, через механизм поворота лопастей и ЭМ. Целью моделирования является возможное расширение диапазона скоростей ветра, используемого для выработки электроэнергии и снижение уровня вибраций в условиях работы установки при высоких скоростях ветра.

Методом математического моделирования построены модели: системы управления (САУ) ВЭУ, порыва ветра [1], аэродинамических свойств ВК [2], генератора, регулятора угловой скорости. Для увеличения производительности ВЭУ в работе использовался способ управления с переменной частотой вращения ВК, путем измерения текущей скорости ветра ( $V$ ) и изменения угла поворота лопасти ( $\varphi$ ); в результате изменения быстроходности ( $z$ ) регулируется угловая скорость вращения ВК ( $\omega$ ): рис. 1 [3].

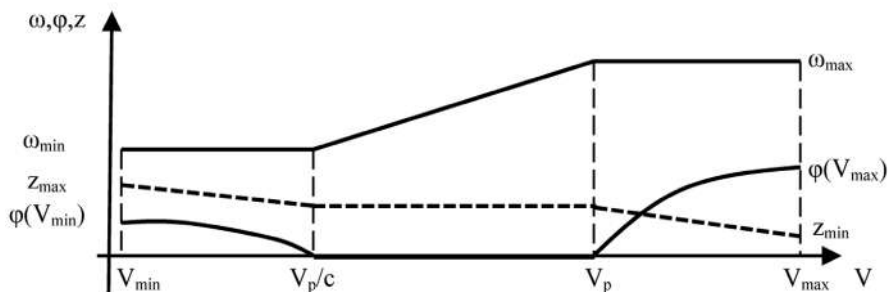


Рис. 1. Статические характеристики модели ВЭУ

### Литература

- ГОСТ Р 54418.1-2012. Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования. — М.: Стандартинформ, 2016.
- Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. К.1. Ветро-электрогенераторы. Харьков: ХАИ, 2003.
- Третьяков А.В., Пискунова О.И. Проектирование системы автоматического управления ветроэнергетической установкой. Дубна: Университет «Дубна», 2022.

*А.О. Куфтина, студ.;*  
*рук. В.Ю. Ляпин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ КРУПНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В НЕПАЛЕ**

Стратегия экономического развития развивающихся стран обычно предполагает реализацию обширного перечня энергетических и инфраструктурных проектов, осуществление которых поможет странам занять достойное место среди развитых государств. Однако ограниченность инвестиционных средств является серьезным сдерживающим фактором. Современным наглядным примером реализации схожих планов социально-экономического развития является Непал. В условиях отсутствия полезных ископаемых и доминирующей роли сельского хозяйства единственным ресурсом является гидроэнергетический потенциал, составляющий 40 ГВт.

Общепризнанно, что единственным выходом из подобной ситуации, помимо привлечения международного капитала, является организация партнерства с частным сектором. При этом нужно учитывать традиционное стремление местного населения сохранять контроль над ресурсами. Поэтому, в 2011 г. правительством были наняты зарубежные советники, имеющие большой опыт в реализации инфраструктурных объектов на базе ГЧП. Шаблон пригодного для банковских структур PDA был сформирован совместно с Министерством финансов Непала одной из ведущих международных компаний, в области проектного финансирования.

К дальнейшим шагам правительства Непала в сфере развития ГЧП относятся формирование Инвестиционного комитета под председательством премьер-министра правительства Непала и юридической группы для консультаций по специфике местного законодательства. Соответствие природоохранных мероприятий международным стандартам явилось необходимым условием для работы с международными финансовыми институтами. Предусмотрена возможность привлечения зарубежных консалтинговых фирм для проведения экологической и социально-экономической экспертиз под финансирование международных банков (World Bank Group, Asia Development Bank и т.д.). Текст PDA прошел несколько правок и был проверен на соответствие банковским требованиям в World Bank и его родственной структуре International Finance Corporation (IFC). PDA содержит объемный механизм защиты интересов местного населения, включающий открытость и публичность торгов, а также бесплатную передачу объекта в собственность правительства Непала после 25 лет коммерческой эксплуатации.



*А.Д. Быкадоров, Я.Г. Заборовский, студенты,  
рук. О.И. Желяскова, асп. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБЪЕКТА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

На основе Федерального Закона № 35 "Об электроэнергетике" и данных из открытых источников, произведены анализы устройства и особенностей солнечных панелей в общероссийском аспекте, рассмотрены системы солнечных микрогенерационных установок, рассмотрены меры государственной поддержки солнечной энергетики и изучены их особенности, проведён анализ рыночных цен в ценовых зонах оптового рынка электроэнергии [3] и мощностей РФ. В ходе изучения и решения поставленных задач, было произведено сравнение двух идентичных по мощности электроэнергетических солнечных систем по генерации электроэнергии [1] и был произведен технико-экономический расчет, в ходе которого было установлено, что отечественное оборудование в идентичных условиях эксплуатации, что и зарубежное, намного экономически выгоднее и эффективнее в эксплуатации [2]. Было установлено что отечественное оборудование, намного проще в обслуживании ввиду, доступности комплектующих. Был произведен анализ рынка солнечной энергетики и макрогенерации на 2022 год. Представленная отечественная система, может быть использована для получения автономной независимости от общей системы электроэнергии, а также для окупаемости собственной стоимости при продаже излишков сгенерированной электроэнергии в общую сеть. Данная система, обеспечивает достаточный срок окупаемости, и позволяет после достижения окупаемости, зарабатывать на продаже электроэнергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 "Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

### **Литература**

1. Солнечная электростанция [Электронный ресурс]. [М.], 2018-2020. URL: [https://electric-220.ru/news/solnechnaja\\_ehlektrostancija\\_sehs/2019-04-07-1674](https://electric-220.ru/news/solnechnaja_ehlektrostancija_sehs/2019-04-07-1674)
2. Схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2019–2025 гг [Электронный ресурс]
3. Электроэнергетика Китая [Электронный ресурс]: итоги 2019 года / Веб портал об инновациях в электроэнергетике. [М.], 2017–2020. URL: <https://renen.ru/china-s-power-industry-2019-results>.

*А.Р. Ганиев, Шицун Чэнь, М.О. Шейкин;  
рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТРАНСМИССИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

В традиционных ветроэнергетических установках (ВЭУ) для передачи мощности от вращающегося ветроколеса электрогенератору обычно используют регулируемый многоступенчатый мультипликатор с большим передаточным отношением. При этом данные агрегаты располагаются в гондоле на большой высоте. Это значительно увеличивает размеры и массу гондолы и башни, приводит к существенному росту капитальных расходов при строительстве. Кроме того, размещение электрогенератора в гондоле высоко над землей приводит к усложнению технического обслуживания, а для замены крупных компонентов необходимы специальные краны.

Нерегулируемость механической трансмиссии приводит к изменению частоты вращения вала электрогенератора при колебаниях скорости ветрового потока, что сказывается на частоте вырабатываемого тока.

Поддержание постоянства частоты вращения вала генератора может быть достигнуто путем вывода ветроколеса из ветрового потока, поворотом лопастей ветроколеса [1]. Вместе с тем следует учитывать, что высокая инерционность элементов при реализации данных подходов существенно ограничивает возможность регулирования частоты вращения.

Обеспечение постоянства частоты тока при переменной скорости вращения вала электрогенератора может быть обеспечено использованием частотных преобразователей. Однако данный способ приводит к значительному удорожанию всей установки.

Данные проблемы могут быть решены использованием регулируемой объемной гидropередачи, состоящей из гидронасоса и гидромотора с переменным рабочим объемом. При этом в гондоле располагается только насос, а гидромотор и электрогенератор со всем вспомогательным электрооборудованием вынесены в отдельное здание, расположенное на земле. Современные гидромашинные агрегаты обеспечивают возможность регулирования в широком диапазоне с использованием современных методов цифрового управления, что позволяет оптимизировать режимы работы ВЭУ и повысить ее энергоэффективность.

### **Литература**

1. **Голубев В.И., Виссарионов В.И., Зюбин И.А., Черкасских С.Н.** Гидравлические передачи для ветроэнергетических установок, Тяжелое машиностроение, № 10, октябрь 2005, М.: «Тяжелое машиностроение», 2005, С. 16–18.

*А.В. Филатов, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ СПИРАЛЬНЫХ ОТВОДОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ РАЗЛИЧНОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ**

В современном машиностроении все больше конструкций выполняется по установившимся методикам проектирования элементов систем, ссылаясь на аналогии, показавшие наилучшие результаты при работе с частными случаями [1, 2]. Одним из таких элементов является спиральный отвод в лопастных насосах. Однако это не всегда коррелирует с получением наибольшего КПД в насосе с рабочим колесом, к примеру, иной быстроходности. Основываясь на современных программных пакетах и надёжной отечественной теоретической базой, исследование направлено на выявление наиболее эффективной формы спирального отвода для насосов различной быстроходности и определению четких границ использования определённых форм сечений. С помощью программных пакетов для CFD моделирования [3], планируется исследовать конструкции спиральных отводов и их характеристики. Для этого необходимо составить модели рабочих колес различной быстроходности: от  $n_s=30$  до  $n_s=300$  и смоделировать несколько вариантов спиральных отводов с сечениями различных форм. На основе данных результатов можно судить о подходящих к той или иной быстроходности форме сечения и, что наиболее важно, об гидравлической эффективности нового спирального отвода. Еще одной проблемой, охватываемой в исследовании, является проектирование языка спирального отвода и оптимизация плавного перехода сечения произвольной формы к нулю без потери в эффективности насоса.

### **Литература**

1. **Ломакин А.А.** Центробежные и осевые насосы. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1966. — 358 с.
2. **Михайлов А.К., Малюшенко В.В.** Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М., «Машиностроение» 1977. — 288 с.
3. **Кондранин Т.В., Ткаченко Б.К., Березникова М.В., Евдокимов А.В., Зуев А.П.** Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие «М.: МФТИ, 2005.» 104 с.

*П. Гонсалес Эрнандес, М. Ткач, студенты; М.А. Бирюлин, асп.;  
рук. А.А. Дружинин, к.т.н., ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ГЭС ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ ГИДРОМАШИН ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Отечественными и зарубежными исследователями установлено, что травмирование и гибель биомассы происходит в проточных элементах гидромашин и носит массовый характер. Данное негативное влияние возникло в связи с возведением гидроэнергетических объектов без достаточного внимания к вопросам экологических последствий. Таким образом, рыбному хозяйству был нанесен существенный ущерб, что в свою очередь вызвало резкое снижение биологических процессов, связанных с самоочищением водных масс.

Для решения проблемы начали активно внедрять рыбоотводные каналы, однако из-за наличия интенсивных сил всасывания потока на входе в водоводы гидроагрегатов процесс прохода рыб вниз по течению, минуя гидротурбины, является неуправляемым, а поэтому малоэффективным.

Попадая в элементы проточного тракта гидротурбин ГЭС, рыба и планктон испытывают на себе влияние резкого изменения давления потока воды, воздействие турбулентности и кавитационных процессов, а также подвергаются интенсивным столкновениям с конструктивными элементами. Кроме того, дополнительную угрозу представляет использование масляной смазки в рабочем колесе гидротурбины, неизбежные утечки которой приводят к образованию масляной пленки на поверхности воды далее по течению.

В этой связи, наиболее эффективными подходами для повышения экологической безопасности объектов гидроэнергетики является:

- усовершенствование конфигурации лопастной системы гидротурбин с целью оптимизации их обтекания потоком;
- снижение частоты вращения ротора гидроагрегата;
- разработка механизмов поворота лопастей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата на водяной смазке.

«Работа выполнена в рамках проекта «Экологически безопасные гидромашин» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.»

Д.А. Юрьев, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЯМОТОЧНОГО ОСЕВОГО ГИДРОАГРЕГАТА С ИНТЕГРИРОВАННЫМ ГИДРОГЕНЕРАТОРОМ

На сегодняшний день зоны децентрализованного энергоснабжения охватывают свыше 65% территории Российской Федерации, где проживает более 15 млн. человек. Также от локальных систем энергоснабжения питается 30 тыс. поселений [1].

Тарифы на электроэнергию в изолированных системах энергоснабжения достигают 22–237 руб./кВт·ч, что в 5–55 раз выше средних по России [2].

Учитывая труднодоступность населенных пунктов в таких регионах, строительство МГЭС является наиболее приоритетным решением, чем строительство ЛЭП от существующих источников мощности.

Однако, высокая стоимость проектирования и строительства МГЭС, для каждого случая индивидуально, обычно не позволяет реализовать подобные проекты.

Решением данной проблемы является проектирование прямоточных осевых гидроагрегатов с интегрированным двигателем модульного исполнения под типовые гидросооружения (Рис.1), которые позволят значительно снизить стоимость оборудования и сроки окупаемости осуществляемых проектов за счет реализации серийного производства.

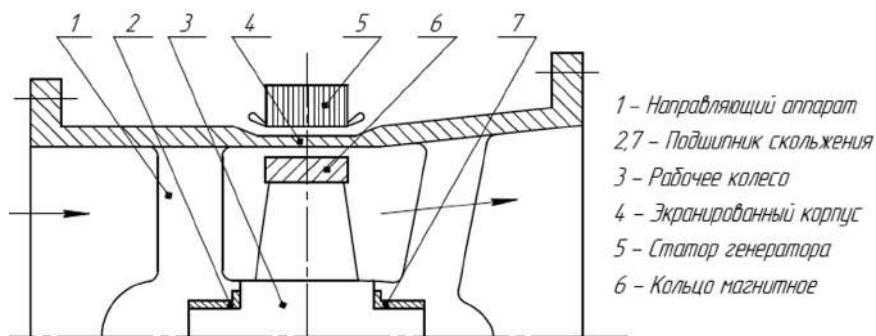


Рис. 1. Прямоточный осевой гидроагрегат с интегрированным двигателем

### Литература

1. Башмаков И.А., Повышение энергоэффективности энергоснабжения в северных регионах России // Энергосбережение. — 2017. — № 2. — С. 46–52.
2. Башмаков И.А., Дзедзичек М.Г. Анализ финансовой нагрузки с децентрализованным энергоснабжением // Энергосовет. — 2017. — № 1. — С. 7–16.

*А.И. Гусаров, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н., (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ НЕЙРОСЕТВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРАТКОСРОЧНОГО ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Переменная облачность затрудняют краткосрочное прогнозирование мощности солнечных фотоэлектрических панелей. Прогноз выходной мощности с солнечных панелей может принести пользу как сетевым компаниям, так и потребителям. Сетевые смогут заранее компенсировать просадку или повышение мощности другими электростанциями в энергосистеме.

Для прогнозирования может быть использована система на основе алгоритмов компьютерного зрения. Самым эффективным методом решения подобных задач сегодня являются конволюционные нейронные сети [1].

В данной работе рассматриваются различные нейросетевые подходы краткосрочного прогнозирования изменения мощности солнечного излучения. Для обучения и работы системы используется камера и фотодиод, которые направлены в небо. Конечное решение по данным с камеры должно прогнозировать изменения мощности солнечного излучения через 5 минут с момента получения снимка.

Система может быть использована без вмешательства в систему управления и инфраструктуру солнечной электростанции. Так как для своей работы она не использует данные о выработке с системы управления и контроля солнечной панели. Система по изображению с камеры дает сигнал об изменении интенсивности солнечной энергии в краткосрочном периоде. Это дает возможность использовать ее с любой солнечной электростанцией.

### **Литература**

1. **Vignesh Venugopal, Yuchi Sun, and Adam R. Brandt** Short-term solar PV forecasting using computer vision: The search for optimal CNN architectures for incorporating sky images and PV generation history // *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. — 2019. — № 6.

А.И. Глазов, студ.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМАХ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ

В современной пневмоавтоматике стоит вопрос главным образом в увеличении скорости быстрого действия и долговечности работы управляющих и регулирующих элементов.

Для решения поставленных задач было решено рассмотреть и смоделировать работу распределителя на базе струйной техники [1]. Ввиду принципа работы такого элемента, который заключается в прямом взаимодействии струй питания и управления, что позволяеткратно увеличить быстрого действия и долговечность поскольку отсутствуют подвижные элементы, которые могут выйти из строя и которые не требуется приводить в движение для передачи управляющего сигнала.

В качестве рассматриваемого элемента струйной техники был выбран струйный распределитель, схема которого представлена на рисунке 1 [2]. По данной конструкции была составлена и решена математическая модель, проверена устойчивость модели, которая показала, что время регулирования исчисляется десятитысячными долями секунды.

Полученные характеристики показывают, что данный элемент подходит для инженерных расчётов и на замену уже используемых распределителей.

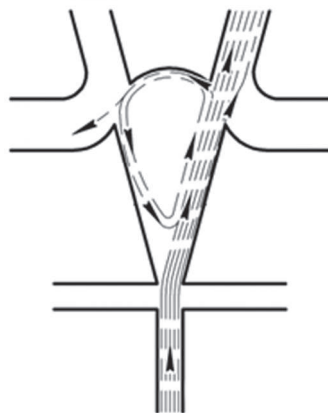


Рис. 1. Струйный распределитель с прилипанием струи к стенке [2]

### Литература

1. Лебедев И.В., Трешкунов С.Л. Яковенко В.С. Элементы струйной автоматики. М. Машиностроение, 1973. 360 с.
2. Рехтен А.В. Струйная техника: Основы, элементы, Схемы. М. изд. Машиностроение, 1980, 237 с.

*Д.В. Фоменко, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТА МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Для решения задач, создания и внедрения новых технологий, физическим лицам, необходимо иметь не только техническое, но и экономическое обоснование. В условиях действующего закона о микрогенерации для интересующегося возможной реализацией проекта инвестора возникает ряд проблем таких как выбор оборудования, параметрами и условиями работы и основной вопрос в виде — правильной оценки эффективности инвестиций.

Инвестиционные затраты на строительство фотоэлектрической станции зависят от потребляемой мощности и климатических условий в заданной географической точке. В данном проекте, с использованием функционала PVLIB, посредством обоснования целесообразности внедрения объекта микрогенерации были выявлены не только экономические затраты [1], сроки окупаемости и наглядное представление о влиянии географического положения объекта на выработку.

В таблице 1 приведен пример влияния выработки солнечной энергии и тарифов на сроки окупаемости при одинаковой конфигурации СЭС в разных городах России.

**Таблица 1.** Полученные результаты для заданных местоположений

Город	Выработка СЭС, кВт·ч	Тариф покупки T1, руб/кВт·ч	Тариф продажи T2, руб/кВт·ч	Экономия, тыс.руб	Срок окупаемости, лет
Москва	29,6	4,9	5,13	202,7	7
Сочи	35	3,1	5,38	211,2	7
Санкт-Петербург	29,8	3,1	4,8	162,8	9

### **Литература**

1. **Рогалёв Н.Д, Зубкова А.Г, Мастерова И.В и др.** Экономика энергетики: учебное пособие для вузов 2005.



*М.М. Костоев, Д.В. Фоменко, студенты;  
рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СВЕРХКРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ**

Практическая польза от использования сверхкраткосрочных прогнозов солнечного излучения на автономных солнечно-дизельных электростанциях заключается в оптимизации режима работы дизельных генераторов (а именно их пусков, остановов, наборов и сбросов нагрузки и работы на холостом ходу в горячем резерве), что приведет к сокращению числа перебоев в электроснабжении потребителя и экономии дизельного топлива за счет уточненного резервирования солнечной электростанции как нестабильного источника электроэнергии.

Сверхкраткосрочные прогнозы могут оказаться полезными и для солнечно-дизельных электростанций, в состав которых входит система накопления электроэнергии на базе аккумуляторных батарей. Несмотря на то, что в этом случае колебания выходной мощности солнечной электростанции могут компенсироваться зарядом/разрядом аккумуляторов, интеграция сверхкраткосрочных прогнозов солнечного излучения в систему управления энергокомплексом приведет к продлению срока службы аккумуляторных батарей благодаря оптимизации количества циклов заряда и разряда.

Существуют различные методы краткосрочного прогнозирования, а именно: прогнозирование с использованием наземной сети автономных датчиков освещения, а также на базе анализов снимков неба.

В данной работе будет изучаться физическая модель прогнозирования, основанная на показаниях, полученных с сети запрограммированных наземных датчиков, расположенных на равноудаленном друг от друга расстоянии, вблизи СЭС. Интервал времени от затенения одного датчика, до затенения следующего датчика, позволяет определить скорость движения облака, а также приблизительное время затенения солнечной станции.

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс, позволит осуществлять прогнозирование мощности, вырабатываемой массивами фотоэлектрических модулей в сверхкраткосрочном (на период до 15 минут вперед) временном горизонте, с применением подхода к прогнозированию интенсивности солнечного излучения, на основе данных, поступающих от сети сенсоров.

*М.М. Костоев, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Актуальность работы заключается в создании упрощенного метода оценки эффективности солнечных модулей вне зависимости от их размеров и паспортных данных, для оценки влияния некоторых параметров на КПД станции.

В качестве решения, для оценки эффективности СЭС, различных конфигураций и размеров, необходимы такие параметры, которые помимо того, что учитывают данные различия, также дают четкую картину об эффективности работы, для этого могут использоваться следующие параметры [1]:

- $\Upsilon_g$ -коэффициент освещенности равный отношению энергии излучения за день к излучению в стандартных условиях, дает количество часов, в течение которых должно светить солнце с интенсивностью  $1000 \text{ Вт/м}^2$  на солнечную панель, чтобы сгенерировать энергию НГ.
- $\text{H}_g$  — энергия излучения, поступающая на солнечный модуль.
- $\text{U}_a$  — коэффициент потерь, равный отношению мощности на стороне постоянного тока к установленной мощности СЭС, позволяющий оценить потери в системе постоянного тока.
- $\text{U}_f$  — коэффициент потерь, равный отношению мощности на стороне переменного тока к установленной мощности СЭС, оценивающий общие потери в Системе, как на стороне постоянного шока, так и при преобразовании в инверторе.

По итогам работы были изучены рабочие параметры СЭС, в таблице 1, представившие сведения о том, что первостепенное влияние на эффективность работы оказывает облачность в рассматриваемый день, так как она напрямую влияет на приход солнечного излучения, от которого и зависит выработка СЭС.

**Таблица 1.** Полученные данные

Дата	$\text{H}_g$	$\text{U}_f$	$\text{U}_a$	$\text{R}_h$	$\text{N}$
27.02.2022	40107	2,6	-1	60,76	52 %
14.03.2022	48547	3,51	3	62,97	54 %

### **Литература**

1. **Mertens, Konrad** (2014) Photovoltaics: fundamentals, technology and practice.

А.С. Михальчук, студент;  
рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ТРЕЩИНАМИ

Предлагаемая математическая модель деформирования железобетонных предварительно-напряженных балок направлена на преодоление известных недостатков и ограничений нормативного метода расчета таких конструкций.

Модель основана на следующих основных положениях: 1). Эпюра напряжений в сжатой зоне бетона принимается переменной формы и характеризуется высотой  $x$ , полнотой  $\omega$  и максимальным напряжением  $\sigma_b$ . 2). Эпюра напряжений в растянутой зоне бетона характеризуется высотой  $x_r$ , полнотой  $\omega_t$  и максимальным напряжением  $R_{tn}$ . 3). Используется фактическая зависимость между напряжениями и деформациями растянутой арматуры на всех стадиях ее работы. 4). Используется гипотеза о пропорциональности средних деформаций бетона и арматуры расстояниям до нейтральной оси. 5). Коэффициент полноты эпюры напряжений в сжатой зоне  $\omega$  и коэффициент упругости  $\nu$  зависят от величины максимальных напряжений  $\sigma_b$ , а также от прочностных и упругопластических свойств бетона.

Для реализации математической модели разработана компьютерная программа в системе MatLab.

Расчитанные по предлагаемой математической модели средние деформации бетона сжатой грани железобетонных балок (рис. 1) и средние деформации арматуры растянутой зоны балок (рис. 2) хорошо согласуются с данными опытов (кривые: 1 — опыт; 2 — по предлагаемой модели; 3 — по нормам проектирования.  $M/M_u$  — изгибающий момент, отнесенный к разрушающему моменту).

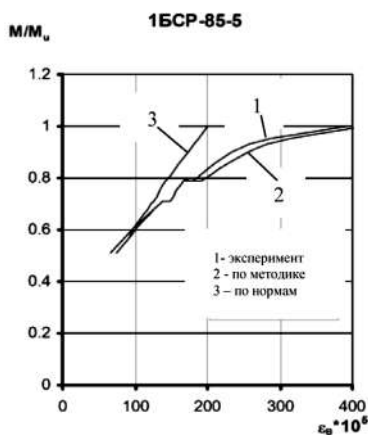


Рис. 1. Средние деформации бетона сжатой грани на разных стадиях нагружения (ось абсцисс)

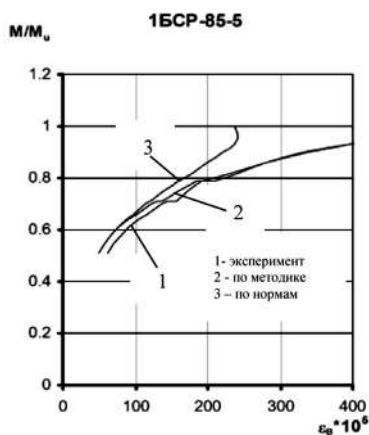


Рис. 2. Средние деформации растянутой арматуры на разных стадиях нагружения (ось абсцисс)

*А.А. Ступин, студент; Д.Ю. Терехов, аспирант;  
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННОЙ СИЛЫ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ К ПОДЛОЖКАМ ИЗ Si/SiO<sub>2</sub> И ПОЛИИМИДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МИКРОМИНИАТЮРНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ**

Технология микроминиатюрных тонкопленочных и гибких термоэлектрических генераторов (ТЭГ) является перспективной для применения в качестве вспомогательного источника питания в микроминиатюрных носимых электронных устройствах. Преобразование части выделяемого человеком тепла в электрическую энергию позволит в значительной степени увеличить время автономной работы носимой электроники. Одной из серьезных проблем гибких ТЭГ является обеспечение надежного электрического омического контакта, обладающего высокой адгезионной силой к термоэлектрическим ветвям и подложке.

В связи с этим, целью данной работы была отработка технологии формирования тонкопленочных электрических контактов на основе Ni, подложкам Si/SiO<sub>2</sub> и полиимидным подложкам, а также к ветвям термоэлементов. Исследование адгезионной силы проводилось методом отрыва на испытательном стенде PCE-FTS50. Поскольку при изготовлении гибких ТЭГ одним из технологических этапов является отжиг при температурах до 300°C, которые значительно превышают эксплуатационные температуры, был проведен анализ влияния отжига тонких пленок Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> к полиимидным подложкам при температуре 200–300°C.

Формирование тонкопленочных покрытий на подложках проводилось методом магнетронного распыления катода мишени. Подложки проходили 2 стадии очистки. На первом этапе была проведена жидкостная химическая очистка в горячих растворах КАРО и ПАР для подложек Si/SiO<sub>2</sub> и отмывка в горячем растворе ионогенных ПАВ для ситалла. Далее образцы сушились при температуре 110°C 60 минут. На втором этапе проводилась плазмохимическая очистка в среде Ar и Sf<sub>6</sub>.

В результате установлено, что адгезионная сила пленок Ni к подложкам Si/SiO<sub>2</sub> составляет 662 г/мм<sup>2</sup> к полиимидным более 1222,3 г/мм<sup>2</sup>. Для термоэлектрических материалов величина адгезионной силы для подложек из полиимида составила –749 г/мм<sup>2</sup> для пленок Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> n-типа и более 1370 г/мм<sup>2</sup> для пленок Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> p-типа. Полученные величины адгезионной силы являются удовлетворительными в технологии тонкопленочных и гибких ТЭГ.

*С.П. Черепанов, асп.; рук. А.В. Волков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМАШИН ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ БИОМИМЕТИКИ**

В статье [1], установлено, что применение наростов на входной кромке лопастей рабочего колеса, имитирующие наросты на переднем крае плавника горбатого кита, приводит к уменьшению гидравлических потерь при обтекании лопастной системы до 20%

Цель данной работы: повысить энергетическую эффективность гидромашин за счет использования принципов биомиметики.

С использованием математических пакетов вычислительной гидродинамики были проведены расчетные исследования влияния наростов на передней кромке пластины, имитирующие наросты на плавнике горбатого кита. Изменяя форму, количество и взаимное расположение наростов, удалось снизить относительные потери на 4,5% по сравнению с исходной пластиной.

На базе экспериментального стенда гидродинамического лотка, находящегося в НИУ «МЭИ», были пролиты пластины с различной конфигурацией наростов на передней кромке, для верификации полученных расчетных исследований. Полученные результаты демонстрируют положительное влияние наростов на гидродинамические характеристики пластины и подтверждают полученные ранее расчетные результаты.

Данный эффект было решено применить к передней кромке рабочего колеса микрогидротурбины. Были смоделированы колеса с различной конфигурацией, количеством и взаимным расположением наростов на передней кромке. Расчетные исследования также проводились в математических пакетах гидродинамики. Результаты исследований показали наличие положительного эффекта при определенных параметрах наростов.

Экспериментальные исследования проходили на стенде стационарной микроГЭС с водоводом сифонного типа. Рабочие колеса с наростами определенной конфигурации на передней кромке демонстрируют прирост вырабатываемой мощности на 11,06% в среднем по сравнению с исходным рабочим колесом.

### **Литература**

1. Дружинин А.А., Орлова Е.С., Волков А.В., Парыгин А.Г., Наумов А.В., Рыженков А.В., Вихлянцев А.А., Soukal J., Sedlar M., Komarek M., Pochyly F., Rudolf P., Fialova S. Повышение эффективности малых и микрогидротурбин на основе применения природоподобных технологий для создания автономных источников энергии. Теплоэнергетика. 2019, N 12, с. 86–96.

*Н.А. Дробницкий, асп.;*  
*рук. А.В. Волков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ НА ШИРИНУ ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

Гетерогенная лопастная система представляет из себя такую лопастную систему в которой минимум две пары лопастей спроектированы под разные напоры отличные от рабочего. В работе [1], установлено, что использование гетерогенных лопастей в насосах позволяет расширить их зону эффективной эксплуатации.

Цель данной работы: разработать метод расширения эффективной зоны эксплуатации гидротурбин на основе применения гетерогенных лопастных систем.

Экспериментальные исследования проводились на стенде микрогидротурбин НИУ МЭИ. На данном этапе исследовалось исходное рабочее колесо, спроектированное методом 3D печати.

Используя CFX пакеты разработана расчетная модель исходного колеса, которая позволит подобрать наиболее удачные с точки зрения расширения зоны эффективной эксплуатации гидротурбины, конфигурации гетерогенных лопастей и оптимизировать их.

Чтобы в дальнейшем можно было говорить о правомерности полученных результатов для крупных гидротурбин, была создана расчетная модель гидротурбины, используемой в ходе экспериментов, проводимых в работах [2]. Результаты этого расчетного исследования приведены в статье [3].

### **Литература**

1. **Вихлянецв А.А.** // Разработка комбинированного метода проектирования энерго-эффективных центробежных насосов низкой быстроходности // диссертация на соискателя ученой степени кандидата технических наук, Москва 2020 134 стр.
2. **D Dekterev, A Maslennikova and A Abramov** //An experimental study of dependence of hydro turbine vibration parameters on pressure pulsations in the flow path // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 899 (2017) 022003 doi: 10.1088/1742-6596/899/2/022003
3. **Дробницкий Н.А., Волков А.В.** // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика современное состояние и перспективы развития // Сборник статей XII Всероссийской научно-технической конференции Санкт-Петербург 2022 стр. 43–51.

*А.А. Чепига, асп.;*  
*рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МАТРИЧНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Матричный многоуровневый преобразователь (ММП) был впервые предложен Р. Эриксоном и О. Аль-Насимом из университета Колорадо в 2001 году. Было доказано, что трехуровневый матричный преобразователь значительно повышает эффективность передачи энергии при помощи ветрогенератора с переменной скоростью вращения, особенно при низкой скорости ветра [1].

Однако нерешенной проблемой оставалось использование централизованной структуры управления для ММП, которая препятствовала модульности и гибкости данной топологии.

В данной работе для устранения этого недостатка предложена новая структура распределенного управления, основанная на развязке напряжений токов ММП с помощью двойного преобразования Кларк. С помощью данного преобразования можно достичь разделения токов и напряжений преобразователя на входные, выходные и циркуляционные, что позволяет применить системный контроллер для решения следующих задач: измерение напряжения и токов на входной и выходной сторонах и выполнение соответствующего управления уровнем системы; расчёт питания ветвей после получения напряжений на конденсаторах и отправка их на локальные контроллеры; отправка сигнала синхронизации на локальные контроллеры, чтобы гарантировать синхронизацию часов; устранение ошибки системного уровня и сигнала состояния от локального контроллера. В свою очередь задачи управления для локальных контроллеров можно сформулировать следующим образом: измерение напряжения и тока конденсатора и последующая отправка значений в системный контроллер; реализация контура управления в реальном времени и генерация ШИМ; быстрое устранение неисправности устройства и отправка сигнала состояния системному контроллеру.

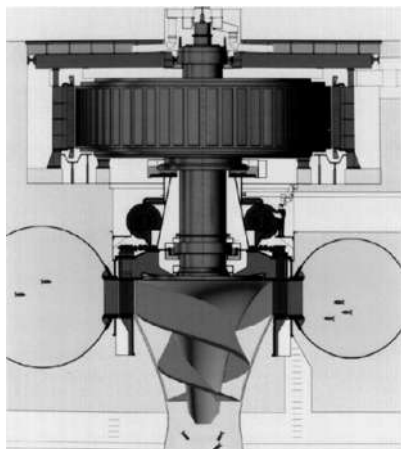
Результаты моделирования показали, что предложенная система управления настроена корректно и имеет большую эффективность по сравнению с классическими методами управления.

### **Литература**

1. **R.W. Erickson and O.A. Al-Naseem**, "A new family of matrix converters," IECON'01. 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No.37243), 2001, pp. 1515–1520 vol. 2, doi: 10.1109/IECON.2001.976015.

*М. Ткач, студ.; рук. А.А. Дружинин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГЭС**



**Рис. 1.** Схема варианта исполнения экологически безопасной гидротурбины

На сегодняшний день, решение задач, связанных со снижением техногенного воздействия объектов гидроэнергетики на окружающую среду является одной из первостепенных задач. Попытки создания безопасных гидротурбин берут своё начало в 20-м веке, по этому пути двигались ученые и в СССР [1]. Вопрос о безопасном прохождении рыбы через гидротурбину доминирует при решении проблемы о целесообразности новой конструкции гидроэнергетической установки.

Одним из эффективных способов снижения отрицательного воздействия сооружений ГЭС на состояние водных объектов является изучение влияния элементов проточной части гидроагрегатов ГЭС на режим стока, а также особенности

рабочего процесса гидротурбин. Таким образом, проблему выживаемости представителей речной фауны можно решить.

В материалах доклада обобщены направления и результаты научных трудов различных авторов. На данный момент условно можно выделить следующие подходы: Изменение “геометрии” РК гидротурбины [2] и изменение проточной части направляющего аппарата.

Данный обзор является начальным ознакомительным этапом в предстоящем исследовании проектирования экологически безопасных гидротурбин.

Работа выполнена в рамках проекта «Экологически безопасные гидромашин» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022–2024 гг.

### **Литература**

1. **Складнёв И.Ф.** Гидротехническое строительство, № 11. 1967.
2. **Mufeed Odeh** A summary of environmental friendly turbine design consepss // U.S. Department of Energy Idaho Office. July 1999.



Э.П. Гонсалес, студент;  
рук. А.А. Дружинин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ГИДРОТУРБИН, ПРЕДОТВРАЩАЮЩИХ РАЗРУШЕНИЕ БИОФАУНЫ

Обеспокоенность по поводу отрицательного воздействия крупных гидроэлектростанций на окружающую среду растет, и организации, ответственные за охрану окружающей среды, такие как AIDA, ЮНЕП, WNO и другие, настаивают на смягчении воздействия этих объектов на фауну рек и водохранилищ, и внедряют все более строгие законы в отношении окружающей среды.

Вот почему использование новых инженерных разработок становится важной задачей для решения экологических проблем, создаваемых гидроэлектростанциями, среди которых гибель рыбы, попадающей в проточную часть гидротурбины.

Предлагаемые подходы [1] направлены на поддержание высокой эффективности гидравлических турбин и в то же время предотвращение гибели фауны, обитающей в водоемах, через которые они проходят и, в свою очередь, тестирует технологические инновации с использованием новых технологий.

Это исследование не имеет аналогов в Российской Федерации, поэтому в случае успеха оно является проверкой инновационных возможностей участвующей группы и превращается в предложение с высоким экономическим потенциалом окупаемости биологически безопасных гидравлических турбин.

Работа выполнена в рамках проекта «Экологически безопасные гидромашин» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2022–2024 гг.



Рис. 1. Течение водяного потока через гидротурбину

### Литература

1. Brookshier, P.A.; Cada, G.F.; Flynn, J.V.; Advanced, Environmentally Friendly Hydroelectric Turbines for the Restoration of Fish and Water Quality // Conference: Integrated Global Water Management. 2008.

Д.В. Мылкин, асп.;  
рук. Б.М. Орахелашвили, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

## АНАЛИЗ ФОРМ ПОДВОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ГИДРОТУРБИН МИКРО ГЭС

В продолжение тематики, изложенной в [1], с целью определения оптимальных геометрических параметров подвода и направляющего аппарата гидротурбины, а также параметров и режима течения, необходимо провести комплексное сравнение математических моделей вариантов проточной части на основе гидродинамической теории решёток и результатов математического моделирования течения в программном комплексе.

Подвод является важным элементом гидротурбины. Он необходим для организованной подачи воды на рабочее колесо гидротурбины с определёнными параметрами потока. Требования к подводу принимаются для максимально возможного удешевления производства и повышения эффективности гидротурбины:

- поток должен быть осесимметричным на выходе из подвода;
- потери напора должны быть минимальны;
- он должен иметь простую геометрию.



Рис. 1. Подвод в форме пасти акулы

Для минимизации потерь напора на входе в гидротурбину и улучшения за счёт этого энергетических показателей малой ГЭС были рассмотрены различные формы подводов: конический с углом раскрытия  $11^\circ$ , торковый с плавным сопряжением на входе и на выходе, а также вариант, вдохновлённый природоподобными технологиями (пастью акулы *Cetorhinus maximus*), конструктивно — подвод, совмещённый с направляющим аппаратом, в котором между двумя торковыми опорными поверхностями установлены цилиндрические лопатки направляющего аппарата (рис.1).

Среди них был выбран оптимальный по совокупности показателей (сложность в изготовлении, массогабаритные показатели, величина потеря давления при прохождении через подводящий до рабочего колеса участок водовода) — «пасть акулы».

Помимо представленных выше преимуществ этого подвода, он также позволяет расширить зону оптимальных КПД гидротурбины, незначительно понизив его максимальное значение (при проведении расчётов на 600 мм турбине и использовании пасти акулы против стандартного подвода и осевого направляющего аппарата, разница — 1%).

### Литература

1. Ермаков И.Н., Орахелашвили Б.М., Лямасов А.К., Мылкин Д.В. Математическое моделирование рабочих органов осевой гидротурбины малой ГЭС // Гидравлика. 2022. № 15. С. 1–12.

*Н.В. Сычёв, студ.; доц. Е.В. Игнатьев;  
рук. Г.В. Дерюгина, ст. преподаватель*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕЕ АПРОБАЦИЯ**

При высокой доле ветровых электростанций (ВЭС), работающих в объединенной энергетической системе (ОЭС), их объединение в оперативно-диспетчерские ветроэнергетические комплексы (ВЭК) приводит к сокращению неравномерности выработки энергии по времени, сглаживанию колебаний мощности и увеличению мощности, генерируемой ВЭК с высокими значениями обеспеченности по ветровому ресурсу, т.е. повышению надежности выработки электрической мощности.

Разработанная автором методика оптимизации конфигурации ВЭК относится к задачам многокритериальной оптимизации и решается методом перебора из всех возможных вариантов. При оптимизации конфигурации ВЭК могут рассматриваться противоречащие друг другу критерии оптимальности, причем их количество и значимость может меняться в зависимости от основной цели интеграции ВЭК в ОЭС. В связи с этим в разработанной методике оптимизация конфигурации ВЭК производится по интегральному критерию, который рассчитывается с учетом весомости выбранных частных критериев. Вес частных критериев оценивается по методу ранга.

Апробация методики производилась на примере ВЭК в составе пяти ВЭС одинаковой мощности 35 МВт на территории ОЭС Средней Волги. Для оптимизации были выбраны четыре критерия: максимум коэффициента использования установленной мощности ВЭК ( $K_{\text{узм}}$ ); минимум коэффициента вариации рабочей мощности ВЭК ( $C_N$ ); максимум рабочей мощности ВЭК с расчетной обеспеченностью ветра 75% ( $N_{p=75\%}$ ) и 95% ( $N_{p=95\%}$ ). Выбор оптимального варианта производился методом перебора из 31-ого варианта конфигурации ВЭК. Для всех вариантов были определены значения критериев и выявлено, что в зависимости от конфигурации ВЭК значения критериев меняются:  $C_N$  от 0,48 до 0,93;  $N_{p=75\%}$  от 3,9% до 25,3%;  $N_{p=95\%}$  от 0,0% до 11,0%;  $K_{\text{узм}}$  от 0,36 до 0,41.

Оптимизация конфигурации ВЭК проводилась 4-я вариантами, в которых при расчете интегрального критерия изменялись только весовые коэффициенты критериев. Наиболее оптимальным, для всех вариантов оптимизации, является вариант конфигурации ВЭК в составе 5-и ВЭС. Данная конфигурация ВЭК позволяет получить мощность около 11% от установленной мощности ВЭК (175 МВт) при обеспеченности 95%. Объединение ВЭС в ВЭК приводит к значительному снижению сезонной неравномерности выдачи электроэнергии ( $C_N$  снижается с 0,98 до 0,48).

*То Лвин У, студ.;*  
*рук. Г.В. Дерюгина, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ГИБРИДНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ОЭС РЕСПУБЛИКИ СОЮЗ МЬЯНМА**

Оптимизация состава гибридной ветро-солнечной электростанции (ГБЭС) относится к задачам многокритериальной оптимизации. В качестве критериев оптимизации были выбраны не только критерии, учитывающие асинхронность поступления ветровых и солнечных ресурсов (минимальный коэффициент вариации рабочей мощности; максимальные мощности, соответствующие обеспеченности 85% и 90%), но и критерии энергетической эффективности ГБЭС (максимальная выработка; максимальный коэффициент использования установленной мощности) и экономической эффективности ГБЭС (минимальная нормированная стоимость электроэнергии). Причем в зависимости от местных ресурсов и их асинхронности, основной цели интеграции ГБЭС в объединенную энергосистему (ОЭС) состав критериев и их весомость могут изменяться. Для формирования оценок весомости частных критериев оптимизации в разработанной автором методике оптимизации состава ГБЭС выбран метод экспертных оценок — метод ранга.

Проверка работоспособности методики проводится на примере гибридной ветро-солнечной электростанции мощностью 70 МВт, расположенной в районе Янгон (Республика Союз Мьянма). В качестве единичных моделей предварительно были выбраны: ветроэлектрическая установка (ВЭУ) модели SE13625 производства компании SANY (Китай) мощностью 2,5 МВт с высотой башни 160 м; солнечный фотоэлектрический модуль (СФЭМ) из монокристаллического кремния Tiger Pro 415W-Solargain производства компании Jinko Solar (Китай).

Выбор оптимального варианта ГБЭС производился методом перебора из 28-и возможных вариантов состава ГБЭС. Причем было рассмотрено четыре варианта оптимизации, в которых значимость 6-и выше перечисленных критериев менялась. Наиболее оптимальным вариантом состава ГБЭС для всех вариантов оптимизации является вариант: СЭС мощностью 25 МВт (60241 СФЭМ) и ВЭС мощностью 45 МВт (28 ВЭУ).

Из-за асинхронности ветровых и солнечных ресурсов в оптимальном варианте комбинация ВЭС и СЭС позволяет получить мощность около 7,7% от установленной мощности ГБЭС при обеспеченности 85%, а также значительно снизить суточную и сезонную неравномерность выдачи электроэнергии ГБЭС, что повышает надёжность системы и снижает потребность в балансировочных мощностях.

**Направление XIII**

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

**Special issues of the electric power  
industry**

---

**Руководитель направления:**

Доцент кафедры электроэнергетических  
систем, к.т.н., доцент

Насыров Ринат Ришатович

**Секция 59**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЙ И МЕДИА ДИЗАЙН**  
**Industrial and media design**

---

*Председатель секции:*

*к.ф.н., доцент Панкратова Александра Владимировна*

*Секретарь секции: Чახеева Екатерина Ивановна*

*В. Д. Каплиева, студ.;*  
*рук. А. В. Панкратова, к. ф. н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ОТСУТВИЕ ВОЗРАСТНЫХ ГРАДАЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ ГРАФИЧЕСКОМ ДИЗАЙНЕ**

В наше время графический дизайн, ровно как мода и любое медиа пространство, очень разнообразен. В XXI веке для всех стали знакомы понятия феминизма, бодипозитива и толерантности. Все это ведёт к тому, что строгие рамки о том, что сейчас в моде и чего все поголовно должны придерживаться, размываются. Люди уже меньше осуждают друг друга за какое-либо несоответствие, каждый сегодня делает то, что ему нравится. Это напрямую отразилось на графическом дизайне в том числе, сейчас все настолько разнообразно, что человек имеет возможность сделать себе самый модный минималистический логотип для своей компании, но в то же время может получить более сложный результат. При этом, дизайнеры не ориентируются на различные возрастные группы, предлагая всем одинаковое стилистическое решение.

На данный момент графический дизайн имеет тенденцию сводить все к минимализму, упрощать и делать все более «понятным», но современные дизайнеры не всегда могут сориентироваться на разные возрастные категории. Для людей пожилого возраста современные тенденции чужды, поэтому в наше время задача любого дизайнера не смотреть свысока на стиль, понятный возрастному потребителю, а стараться предложить лучшую альтернативу.

Интересным примером размытости смыслов в дизайне является дизайн для детей — детская одежда, игрушки и мультки. Сейчас в моде сдержанные пастельные цвета, отсутствие на одежде принта или надписей, однако это совершенно не подходит ребёнку.

Ребенок реагирует на пестроту и цвет, ему нет дела до моды, он хочет надеть то, что ему нравится. Современный графический дизайн коснулся и детских мультфильмов, не все, но большая часть слишком сильно упрощена и непонятна, так что ребёнок не может отличить корову от собаки, а ведь этот момент играет огромную роль для его развития и дальнейшего представления об окружающем мире. Именно поэтому, вопреки современным мультфильмам, советские для всех стали намного ближе, несмотря на то, что они созданы уже не одно поколение назад. Или же легендарная заставка детской передачи «Спокойной ночи малыши» где ничего не поменялось, но при этом она все также актуальна.

*В.А. Пасмерюк, студ.;*  
*рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРОЩЕННОСТЬ ЛОГОТИПОВ В МЕДИАДИЗАЙНЕ**

Характерной чертой современного медиа дизайна является упрощенность логотипов. Сейчас практически каждый логотип имеет белый цвет и округленные формы. Проблема в том, что из-за такого упрощения мы не всегда можем отличить одну компанию от другой. Дизайнеры перестали писать полное название фирмы, используют только первые буквы, стараются максимально упростить их изображение с помощью палочек и точек. Такие логотипы мы видим в социальных сетях «ВКонтакте», «Facebook», у компании «Xiaomi» и многих других. В 2016 году снова стали популярными градиенты, но цвета во многом идентичны: постоянно повторяющаяся перетекающая в фиолетовый фуксия приводит к тому, что можно легко перепутать «Instagram» с «Messenger» или «UDS». В 2020 году «Сбербанк» тоже упростил свой логотип до минимума, оставив только галочку и кружочек. Многие проводят ребрендинг из хорошего, яркого, в более «новый» — тусклый и округленный. Примером может являться ребрендинг «Google Play» в 2022 г. Логотип потерял свою особенность, в старом логотипе присутствовали небольшие тени и острые углы, что делало его более различимым и интересным. Сейчас же эти особенности убрали, из-за чего логотип стал более тусклым.

Сейчас наша страна активно выкупает зарубежные бренды или меняет их на свои, из-за чего появилась потребность полностью поменять дизайн. К сожалению, не все ребрендинги выходят удачными. Больше всего наделал шума логотип бывшего ресторана «McDonald's», который теперь называется «Вкусно — и точка». Было предложено много хороших вариантов, например, сделать логотип по иллюстрациям сказок Ивана Яковлевича Билибина. Но компания решила, что лучше использовать минимализм и тусклые цвета, сделав приглушенный зеленый, две палочки и красную точку. Сначала многие даже не поняли, что этот логотип значит, кто-то думал, что это восклицательный знак или новый логотип «Lamoda», злые языки говорили, что на нем изображена смерть лыжника. «Starbucks» тоже попал в категорию неудачного ребрендинга. О нем меньше говорили, так как новый логотип взял за основу свой прототип. Идея интересна, дизайнеры подчеркнули то, что теперь «Starbucks» стал русской компанией, изобразили вместо русалки девушку в кокошнике, но они убрали круглую обводку, стало меньше волн от волос и совсем исчезли руки, все это сделало логотип менее интересным.



*Д.С. Прохорова, студ.;*  
*рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМА МАССОВОГО ДИЗАЙНА**

В наше время дизайн все больше и больше стремится к минимализму, отсутствию цвета и индивидуальности. Таким образом проявляется стремление к некому удобству, однако, дизайн связан не только с функциональностью, но и с выявлением индивидуальности объекта. Умелый дизайнер относится к своим творениям с душой, применяет цвет, подчеркивает индивидуальные особенности проекта. Он попытается выразить всю суть и сделает это удобно, со вкусом. Но если и дальше так называемые «дизайнеры» продолжают штамповать шаблонные, простые и до боли одинаковые решения, выводить их в тренды, то, к сожалению, профессия дизайнер может исчезнуть.

Чтобы решить данную проблему, надо вводить новые тренды, повышать квалификацию и ставить разумную цену за работу. Простой минималистичный дизайн может сделать любой человек, а вот мастер своего дела выразит себя в работе максимально, да еще и качественно. От штампованности дизайна будет тяжело отказаться быстро, ведь это не требует никаких сил, воображения, не затратно по времени, главное ведь сделать функционал.

Да, современные дизайнеры виноваты в происходящем, но также не стоит забывать и про потребителей. В них заключается основная проблема. Люди мыслят однообразно, и в качестве дизайнера хотят видеть решения, которые уже были у других. В настоящее время весь мир пытается лишиться индивидуальности, в трендах одинаковость. Люди боятся вырваться за рамки обыденности, и это не очень хорошо. Опасение быть осужденным, страх быть белой вороной, не таким как все, делает современный дизайн однообразным.

Таким образом, можно сделать вывод, что проблема кроется в идеологии общества. Рано или поздно человечество осознает, что следовать шаблонам и не быть индивидуальным — скучно. Людям надоест посредственность и в мир ворвется буйство красок и фантазии. Но, все же, во всем нужна мера, важно, чтобы не было избытка фантазии. Дизайн будет существовать как профессия, лишь между отсутствием индивидуальности и ее переизбытком.

*А.Д. Балужева, студ.;*  
*рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРОБЛЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ В ДИЗАЙНЕ**

В наше время дизайн все больше и больше стремится к минимализму, отсутствию цвета и индивидуальности. Таким образом проявляется стремление к некому удобству, однако, дизайн связан не только с функциональностью, но и с выявлением индивидуальности объекта. Умелый дизайнер относится к своим творениям с душой, применяет цвет, подчеркивает индивидуальные особенности проекта. Он попытается выразить всю суть и сделает это удобно, со вкусом. Но если и дальше так называемые «дизайнеры» продолжают штамповать шаблонные, простые и до боли одинаковые решения, выводить их в тренды, то, к сожалению, профессия дизайнер может исчезнуть.

Чтобы решить данную проблему, надо вводить новые тренды, повышать квалификацию и ставить разумную цену за работу. Простой минималистичный дизайн может сделать любой человек, а вот мастер своего дела выразит себя в работе максимально, да еще и качественно. От штампованности дизайна будет тяжело отказаться быстро, ведь это не требует никаких сил, воображения, не затратно по времени, главное ведь сделать функционал.

Да, современные дизайнеры виноваты в происходящем, но также не стоит забывать и про потребителей. В них заключается основная проблема. Люди мыслят однообразно, и в качестве дизайнера хотят видеть решения, которые уже были у других. В настоящее время весь мир пытается лишиться индивидуальности, в трендах одинаковость. Люди боятся вырваться за рамки обыденности, и это не очень хорошо. Опасение быть осужденным, страх быть белой вороной, не таким как все, делает современный дизайн однообразным.

Таким образом, можно сделать вывод, что проблема кроется в идеологии общества. Рано или поздно человечество осознает, что следовать шаблонам и не быть индивидуальным — скучно. Людям надоест посредственность и в мир ворвется буйство красок и фантазии. Но, все же, во всем нужна мера, важно, чтобы не было избытка фантазии. Дизайн будет существовать как профессия, лишь между отсутствием индивидуальности и ее переизбытком.

*С.А. Карпешина, студ.;*  
*рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ТЕНДЕНЦИИ 2022 ГОДА В МЕДИАДИЗАЙНЕ**

Медиадизайн с каждым годом совершенствуется. Вспомним дизайн 2010, 2015 и 2020. Казалось бы, вроде небольшой промежуток между датами, всего-то пять лет, однако столько всего изменилось. Например, в 2010 было популярно использовать большие логотипы в шапке профиля, стиль ретро, имитацию под журнальную верстку. В 2015 становится модным плоский дизайн, растет интерес в сторону типографики. 2020 запомнился неоморфизмом, абстрактными формами и сюрреалистическими иллюстрациями. Рассмотрим, что в тренде в 2022 году.

Первое, что сразу хочется выделить, это голографический дизайн. На сегодняшний день этот тренд находится на пике популярности. Он проявляется в логотипах, анимациях, всевозможной рекламе. Голограмма задаёт движение в композиции с помощью перелива цвета, благодаря чему дизайн выглядит футуристично. В качестве примера можно привести интернет рекламу МТС Premium (belkacar). В ней мы как раз можем наблюдать голографический дизайн, дифракцию света.

Второе, на что важно обратить внимание, это 3D. Визуализация трехмерных объектов стремительно набирает обороты. Увидеть 3D-модели мы можем, как правило, в мобильных приложениях, рекламе, на веб-страницах, постерах, плакатах, иконках и пр. Подобная техника необходима для создания уникальности бренда. Потребителю намного интересней рассматривать необычное изображение, нежели читать скучный текст о товаре. Особенно это актуально в наши дни, когда онлайн-магазины становятся все популярнее. Как, например, на сайте [wannathis.one](http://wannathis.one) представлена большая коллекция 3D-продуктов для дизайна. Здесь можно приобрести трехмерные объекты для своих работ на любой вкус, как за деньги так, и бесплатно.

Третье, еще один немаловажный тренд, — стекло и кристаллы. Эта мода появилась с появлением iOS7. Только сейчас акцент делается не на блесках и ярких бликах, а на спокойных приглушенных тонах с эффектом стекломорфизма. В 2022 году еще много тенденций, которые мы не затронули. Например, антидизайн — свобода самовыражения, переосмысление рамок дозволенного; плоский дизайн; экспрессивная типографика и т.д. Тренды 2022 года очень разные по стилю и по исполнению, и это впечатляет. Сфера медиадизайна становится все более совершенной.

*И.Б. Голов, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **РЕДИЗАЙН ИНТЕРНЕТ-КОНТЕНТА В 2022 ГОДУ. ТРЕНДЫ В WEB-ДИЗАЙНЕ**

Веб-дизайн является самым передовым направлением в дизайне на данный момент и полем для различных экспериментов. Благодаря тесной взаимосвязи с технологиями, цифровая сфера каждый год демонстрирует новый уровень погружения и взаимодействия пользователя с контентом через новые анимации, интерфейсы, визуальные стили.

Мы все привыкли к плоскому дизайну, он максимально функционален, удобен, но в то же время скучен и однообразен. Дизайнеры последние несколько лет пытаются сделать веб-дизайн интереснее, и сейчас они добились определенных успехов в этом направлении. В 2022 году наблюдается тенденция поиска и переосмысления идей из прошлого. Так, дизайнеры обратились к бунтарскому, экспериментальному стилю сайтов 90-х годов и переосмыслили его с учетом 30-летнего опыта совместного проектирования. Брутализм также обрел новую жизнь в дизайне, в том числе, и в интернет среде. Простые фоны, акцент на типографику, необработанные фотографии — все это включает Необрутализм. Вместе с вышеперечисленными стилями умы дизайнеров захватил стиль Арт-Деко, который сумели переосмыслить и вписать его в концепцию плоского современного дизайна, добавив ему декоративности и элитарности.

Но не только в прошлом находится ключ к качественному дизайну, технологии не стоят на месте и вместе с этим и дизайнеры генерируют все более интересные идеи для своих проектов. Все тот же плоский дизайн наполняется динамичными текстовыми элементами, интерактивным фоном, различными приёмами выделения блоков информации. Видимая сетка и вовлекающий интерактив стали серьезным шагом на пути к новому уровню взаимодействия пользователя с контентом. Наряду со строгостью в дизайне появилась мода на искусственную неаккуратность, ручную детскую графику, созданную умелыми руками профессионалов. И, конечно же, нельзя не упомянуть развитие скроллинга. Он появился достаточно давно и захватил множество платформ. В 2022 году активно начали использовать креативный скроллинг, который позволяет превращать страницы в живые миры с помощью психоделических образов, эффектов параллакса и даже прорыва в третье измерение.

В заключение хочется сказать, что синтез визуальных стилей прошлого и новых технологий, которые развиваются с огромной скоростью, позволяют воплощать дизайнерам все свои самые креативные идеи.

*В.А. Крючкова, студ.;  
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ЦВЕТ В 2022 ГОДУ В МЕДИАДИЗАЙНЕ**

«Институт цвета Pantone выбрал цвет 2022 года — Very Peri», — пестрели заголовки статей в дизайнерских и художественных журналах в начале этого года. И не случайно эта новость стала настолько известна. Цвет Veri Peri стал реакцией на видеоигры, жизнь на фоне пандемии и растущую популярность метавселенных.

В современном медиадизайне цвет играет чуть ли не основную роль. Даже форма отходит на второй план, цвет первичен. В 2022 году в моде 3D и 2D-графика, оттенки либо пастельные, либо сочные и яркие, либо триколон с участием черного и белого.

Современный дизайнер выбирает цвет в зависимости от поставленной задачи. Если необходимо показать превосходство продукта, то используется триколон с подходящим под тематику продукта цветом (NIKE в рекламе своей обуви часто используют чёрный, белый, жёлтый; платформа для обучения Geek brains использует в основном чёрный цвет). Если важно указать на прогрессивность, молодёжность бренда, используют яркие цвета — оранжевый, желтый, красный (Московское Метро в дизайне рекламы, мерча и плакатов использует множество ярких цветов; Barbi сменила нежно-розовый на яркий, привлекающий к себе внимание, почти малиновый цвет). Если нужно показать дороговизну, эксклюзивность и красоту бренда используют приглушённые, пастельные тона (кампания Apple использует пастель как фон для своей продукции).

С помощью пастели в дизайне формируется новый минимализм, кстати, очень логично объявлен новый цвет года: Veri Peri описывается создателями как динамичный синий с фиолетово-красным подтоном, идеально вписывающийся в картину современного дизайна.

Современный дизайн сложен и неоднозначен, нет необходимых рамок, ограничивающих и связывающих дизайнера по рукам и ногам, поэтому цвет и стиль может быть выбран любой, главное, чтобы была передана основная идея и смысл дизайна.

*Д.А. Филатова, студ. ;  
рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **АКТУАЛЬНОЕ В МЕДИАДИЗАЙНЕ**

Медиадизайн — это создание новой среды коммуникаций, посредством: звука, видео, анимации и статического изображения. Медиадизайн способен показать под другим углом привычные нам вещи, вызвать бурные эмоции, захватить наше внимание — все это результат грамотно спроектированной работы, правильно выбранных средств выражения и актуального или необычного оформления. Медиадизайн имеет свои тренды, отражающие актуальные запросы потребителей. Вот несколько таких примеров:

Использование 3D-технологий. С помощью 3D можно создавать как красивые, но нереалистичные работы, так и работы, сравнимые с фотографией, — все это позволяет создавать нереальные или трудно осуществляемые в реальном мире задумки. Примером использования может послужить сайт «Сбербанк», на сайте которого мы можем встретить человечков, созданных при помощи 3D-технологий.

2D-иллюстрации. Векторные рисунки с различным уровнем детализации уже давно прочно укрепились в окружающем нас в пространстве. Легкие в рисовании человечки позволяют наиболее быстро и эффективно донести информацию или красиво и интересно оформить пространство. Примером использования 2D-иллюстрации может послужить сайт фонда «Живая классика». Часто 2D-иллюстрации можно встретить, пребывая в московском метро.

Типографика. Не самую последнюю роль играет текст, ставший эффективным визуальным элементом. Текст выступает в качестве фонового орнамента, сливается с фигурой, дает акценты, привносит жизнь в работу. Грамотное использование текста позволяет выгодно подчеркнуть работу, эффектно донести информацию.

Крупный план и детализация. Данный прием часто используется при рекламе техники. Примером тому может послужить реклама телефона от Samsung или Apple.

Неон и киберпанк. Неоновые цвета все чаще можно встретить на просторах интернета. Данную тенденцию можно объяснить возросшим интересом к теме будущего с его футуристическими пейзажами. Яркое и технологическое будущее всегда будоражило умы и делает это сегодня. Примером использования может послужить сайт «Офис 34».

Подводя итог, можно увидеть, что современный медиадизайн старается использовать все возможности от графического изображения до текста. Старается сочетать удобство и красоту, делая медиапродукт понятным и запоминающимся для потребителя.

*В.А. Пасмерюк, студ.;*  
*рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРОЩЕННОСТЬ В СОВРЕМЕННОМ ДИЗАЙНЕ**

В современном дизайне наметилась одна существенная проблема. В наше время графические дизайнеры стараются максимально упростить свои проекты. При этом дизайн стал терять свою индивидуальность. Почти везде графический дизайн стараются упростить. Рассмотрим упрощение в дизайне социальных сетей. Социальные сети тоже стараются максимально упростить свои логотипы, делая белый фон. Он присутствует почти во всех социальных сетях — «ВКонтакте», «Facebook», «Instagram» и т.д.

В 2016 году в «Instagram» появились сторис, где можно было опубликовать события в данный момент своей жизни на ограниченное время. Сейчас они обозначаются как круглая иконка с обводкой и градиентом. И в этом же году появились сторис «ВКонтакте». У них тоже используется круглая иконка с обводкой цвета своего логотипа, и так произошло во многих социальных сетях. Проблема в том, что из-за этого упрощения потребитель не всегда понимает, а иногда и забывает, в какой социальной сети в данный момент он находится.

Упрощение затронуло и шрифт: сейчас начинает набирать популярность шрифт из геометрических фигур. Этот шрифт выглядит интересно и лаконично, но теряет свое прямое предназначение: его иногда очень сложно прочитать. Вместо текста он превращается в шараду, и не у всех есть время ее решать, поэтому текст остается неп прочитанным.

Упаковка не потеряла свою функциональность, в отличие от шрифта, наоборот, она стала намного проще и интереснее при открывании, но ее дизайн стал более тусклым и упрощенным. Например, фирма печенья «Огео» сделала новый дизайн упаковки, призывающий помочь бездомным животным. Это хорошее дело, но дизайн выглядит так, как будто животные уже мертвы, а некоторые формы упаковок похожи на гробы. Из-за упрощения не всегда понятно, где у животных уши, а где глаза, хвост у кролика выглядит как дырка. Даже если оставить цветами упаковки черный и белый, но прибавить больше деталей, то будет намного понятнее и веселее, эту упаковку даже захочется оставить себе.

Когда слышишь про упаковку духов, то представляешь, что на ней изображено что-то особенное, например, цветы или то, что издает определенный аромат, но все это нельзя сказать об упаковке знаменитых духов «Chanel». Упаковка этого бренда слишком обычная. Белый цвет и черная рамочка. Такую упаковку не хочется оставить себе.

Упрощенный дизайн теряет свою индивидуальность, становится тусклым и неинтересным.

*К.В. Багаева, студ.;  
рук. Е.В. Панкратова, к. филол. н., преподаватель  
(ОГБПОУ «Смоленский педагогический колледж», Смоленск)*

## **ОБРАЗА ВОЛКА В ЛОГОТИПАХ**

Все мы знаем, что в мире существует бесчисленное количество компаний и производств, делающих жизнь человека лучше. Без каких-то обойтись было бы трудно, а без других и вовсе невозможно. Но все согласятся, что неотъемлемо важной частью компаний является логотип. Без него компания была бы неприметной. Зачастую логотипы делают отражением данного предприятия. И здесь не обошлось без образа волков.

Волк — это сильное, свободное животное. Зачастую волки живут в стаях, можно предположить, что именно из-за этого свойства волк мог стать символом сплочённой компаний. Как символ отличной физической формы волк стал знаком спортивных предприятий, таких как: Хоккейный клуб «Динамо», Датский клуб электронных видов спорта «Copenhagen Wolfs», «CRYPTX gaming» и многих других. Также волк является маскотом чемпионата мира по Футболу, проходившему в 2018 году.

В том числе из-за своего меха и толстой шкуры волк является символом брендовой тёплой одежды. Известны такие бренды как: «Jack wolfskin», «Wolf», «Völkl».

Волк животное очень сообразительное. По этой причине он является символом одной из крупнейших и наиболее известных пиратских компьютерных групп «Седьмой волк» и агентства веб-дизайна «Wolf web design».

Благодаря своей вольности, неукротимости и скорости образ волка используют в логотипах мотоклуба «Ночной волк», бразильского автомобиля «Lobini» и суперкара «gta motor».

Также из-за своего бурного нрава, силы и агрессивности волк стал символом турецкой националистической молодёжной организации «Бозкурт», известной также как «серые волки».

Анализ логотипов показывает, что благодаря ярким, закрепившимся в культуре ассоциациям, связанным с волками, этот образ является продуктивным для создания с ним фирменных знаков, при этом возможно обращение к разным характеристикам этого животного, что позволяет использовать его изображение в построении имиджа компаний во многих сферах производства и деятельности людей.



*Н.А. Тжебятovski, А.В. Хастьян, В. Дони,  
В.В. Замашкин, А.Ю. Викторов студ.;*  
*рук. О.В. Кубряк, д.б.н., рук. Ю.А. Амброзович асс. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ**

Графическое изображение трёхмерных объектов отличается тем, что включает построение геометрической проекции трёхмерной модели сцены на плоскость (например, экран компьютера) с помощью специализированных программ. Однако, с созданием и внедрением 3D-дисплеев и 3D-принтеров, трёхмерная графика не обязательно включает в себя проецирование на плоскость.

В дизайне цифровых технологий есть много уникальных визуальных проблем, таких как изменение глубины, распознавание сигналов и включение функциональных элементов управления в среде. Цель дизайнера в такой индустрии-воспроизвести реальность, поэтому необходимо полагаться на естественные жесты. Чем меньше элементов управления придётся усвоить пользователю, тем легче ему будет погрузиться. Еще одна проблема — дать пользователям понять, с чем они могут взаимодействовать и как. Дизайнеры должны давать пользователям подсказки, основанные на реальном мире, использовать сигналы, которые не требуют пояснений и будут использоваться человеком инстинктивно.

Также в виртуальной реальности необходимо следить за тем, чтобы пользователю не приходилось слишком часто переключать фокус своего внимания. Необходимо постараться держать соответствующие визуальные элементы на одном уровне глубины. Поскольку наше собственное зрение искривлено, лучше всего отображать текст и изображение в виртуальной реальности как слегка изогнутую или вогнутую поверхность. Это подходит для визуального погружения и будет выглядеть более плавно, когда пользователь поворачивает голову. В AR и VR дизайнеры могут перенести множество традиционных визуальных эффектов, чтобы лучше определить пространство и расстояние. Классические методы, такие как изометрия, освещение и тени, могут помочь в создании реалистичных трёхмерных пространств. [1].

В данном исследовании проводится анализ применения разрабатываемых технологий для обучения и работы с 3D, а также в дальнейшем развитии и внедрении VR и AR технологий в промышленный дизайн.

### **Литература**

1. **Аминова, Г.Г.** Технологии виртуальной и дополненной реальности в дизайне рекламы / Г.Г. Аминова, Л.К. Козырева // Ноэма (Архитектура. Урбанистика. Искусство). — 2021. — № 2(7). — С. 178–188. — EDN CKMOFM.

**Секция 60**  
**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА В ВОЕННОМ ДЕЛЕ**  
**Electric power in the military**

---

*Председатель секции: к.в.н., доцент Ивахненко Вадим Иванович*

*Секретарь секции: Силаев Дмитрий Александрович*

*А.С. Рачев, студ.; Е.А. Мохорт, студ.; Е.В. Ильюшко, студ.;  
рук. Д.А. Силаев, подполковник, заместитель начальника ВУЦ  
(НИУ «МЭИ»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ БЛОКОВ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРИЗУЕМЫХ ЗАГРАДИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЫСТРОГО И ЭФФЕКТИВНОГО ВНЕДРЕНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Система охраны и обеспечения безопасности энергетических и военных объектов имеет огромное значение в современном мире. При ведении боевых действий невозможно обойтись без средств, регистрирующих факт или попытку проникновения противника на запретную территорию с последующим его удержанием или нейтрализацией.

Одним из средств, позволяющих осуществить данную задачу, является электризуемое ограждение. Принцип данного устройства основан на поражении нарушителя электрическим током. В его состав, как правило, входит источник электрической энергии, линейная часть и заземлитель. При этом конструктивной особенностью является возможность регулирования степени воздействия на биообъект на уровне поражающего и отталкивающего эффектов. Данные средства защиты относятся к периметровым средствам, обеспечивающим эффективную охрану икрытие объектов.

В рамках данного исследования будет рассмотрен вариант применения импульсных блоков (ИБ) в составе электризуемых ограждений для быстрого и эффективного внедрения системы защиты в полевых условиях. Применение ИБ позволит произвести реализацию необходимой степени защиты при использовании источников постоянного тока (аккумуляторных батарей) в условиях, где невозможно обеспечить постоянную генерацию электрической энергии (ЭЭ). Принцип применения данного устройства будет заключаться в постоянном контроле входных и выходных параметров, а активизация будет доступна только по мере необходимости, в результате чего станет возможным сохранить низкое потребление ЭЭ при питании от внешнего источника.

Результаты данной работы будут полезны в военном деле в системах охраны и обеспечения безопасности военных объектов.

### **Литература**

1. Удинцев Д.Н., Франкевич А.А., Слепов А.Н., Русанов В.А. Пути применения электроэнергии для обеспечения безопасности объектов. — 13.04.2012.

*Д.А. Мерзликин, И.В. Смоляков, студенты;  
рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **СИЛОВОЙ СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ РЛС**

Радиолокация — отрасль радиотехники, активно развивающаяся в течении XX–XXI веков. Существенную роль в этом процессе играют исследования характеристик разрабатываемых радиотехнических систем, в частности радиолокационных станций (РЛС) обнаружения и сопровождения воздушных, наземных и надводных объектов. Реализация тактико-технических характеристик РЛС невозможна без специальных систем сканирования пространства, основу которых составляют силовые следящие приводы (ССП), обеспечивающие перемещение антенных систем РЛС в заданных пределах, а также их движение при сопровождении целей по угловым координатам. ССП является системой автоматизированного управления с заданным набором параметров и характеристик, которые определяются исходя из назначения РЛС. Он играет важную роль в обеспечении потребной точности сопровождения объектов и заданных параметров сканирования пространства. Разработка ССП является сложной самостоятельной инженерной задачей, требующей высокой квалификации конструктора. Описание процесса разработки ССП и оценки его характеристик представляют интерес для специалистов в области конструирования комплексного автоматизированного электропривода, что по мнению автора подтверждает актуальность работы.

В докладе представлены результаты разработки ССП для малогабаритной РЛС обнаружения, обеспечивающего ее работу в режиме секторного сканирования и сопровождения объектов в двух ортогональных плоскостях. В конструкции привода широко применены современные цифровые технологии управления электрическими процессами с возможностью оперативного управления параметрами работы, что подчеркивает новизну полученных результатов и их практическую значимость. Привод обладает достаточной нагрузочной способностью при вращающем моменте на валу подвижной платформы до 40 Нм.

Разработанный ССП совместно с подвижной переносной унифицированной платформой обеспечивает проведение экспериментов с малогабаритными РЛС в интересах различных конструкторских и производственных организаций радиоэлектронной промышленности двойного назначения. Кроме того, представленный ССП будет использоваться как самостоятельная система автоматизированного управления для изучения свойств и характеристик в процессе обучения на кафедрах радиотехнического профиля НИУ «МЭИ».

*М.О. Нужин, студ.; рук. И. В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **УПРАВЛЯЕМЫЙ ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ВИРТУАЛЬНОЙ РЛС**

Виртуальный тренажерный комплекс — это совокупность программно-аппаратных средств, обладающих способностями имитации работы реального технического средства. Таким средством, может быть радиолокационная станция (РЛС). Виртуальный тренажерный комплекс, имитирующий процессы управления радиолокационной станцией, позволяет интенсифицировать процесс получения профессиональных компетенций в эксплуатации сложных технических систем.

В докладе представлены результаты разработки управляемого виртуального тренажерного комплекса, имитирующего работу реальной РЛС. При создании виртуального тренажерного комплекса были применены различные методы объектно-ориентированного программирования, что позволило создать дружелюбный интерфейс, разнообразные ситуации и реакции системы на внешние воздействия.

Разработанный управляемый тренажерный комплекс на базе виртуализации обеспечивает экономически целесообразное использование машинных ресурсов. Использование комплекса снижает нагрузку на реальную технику, экономия ее ресурс. Предлагаемый виртуальный тренажерный комплекс будет внедрен в военном учебном центре при «НИУ «МЭИ» и обеспечит повышение качества военной подготовки студентов как специалистов радиотехнических войск.

*А.С. Линьков, студ.; рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ, ОТРАЖЁННЫХ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ**

Окружающий человека материальный мир наполнен объектами, требующими постоянного наблюдения за ними: исследования поведения и их свойств с целью обеспечения безопасности. Методы радиолокации эффективно решают задачу наблюдения. Результатом наблюдения космического пространства являются: обнаружение новых звёзд, метеоритов, планет и др. космических объектов. Радионаблюдение тропосферы позволяет осуществлять слежение за воздушными объектами, а также за погодными условиями. Зондирование в толще земли позволяет искать полезные ископаемые, исследовать состав горных пород.

Путём анализа характеристик и параметров сигналов, отражённых от объектов, проводится их исследование, используя методы радиолокации. Рациональным и широко применяемым способом анализа является имитационное моделирование, так как получение реальных сигналов является непростой задачей. Отражённые сигналы, как правило, имеют случайные параметры и сопровождаются аддитивными и мультипликативными шумами разной природы, так как объекты имеют сложную геометрическую форму исследуемых объектов.

В докладе представлены результаты научно-исследовательской работы по исследованию характеристик сигналов, отражённых от пространственно-распределённых целей методом имитационного моделирования в математическом пакете Matlab. В ходе исследования разработана обобщённая модель объекта локализации, учитывающей его геометрические форму и размеры, его отражающие свойства, особенности среды распространения, а также наличие собственных шумов антенны, пассивных и активных помех. Отличительной особенностью разработанной программы является учёт максимального количества факторов, влияющих на отражённый сигнал, удобный интерфейс, позволяющий оперативно изменять параметры модели, а также большой набор анализируемых выходных функций и характеристик сигнала.

Результаты моделирования с высокой точностью отражают свойства реальных сигналов и могут быть использованы для построения устройств обработки с целью получения радиолокационной информации об объектах.

*А.А. Дергачев, студ.;*  
*рук. Д.А. Силаев, зам. нач. ВУЦ при НИУ МЭИ (НИУ «МЭИ»)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БОРТОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ КАРБИДА КРЕМНИЯ**

Карбид кремния является перспективным материалом для силовой электроники. Замена используемого на данный момент кремния, как наиболее распространённого материала полупроводниковой (ПП) техники, на карбид кремния позволит ПП устройствам выйти на новый уровень.

Карбид кремния обладает высокой теплопроводностью, что позволяет организовать эффективный отвод тепла от кристалла. Материал обладает большой шириной запрещенной зоны, что является важным параметром для силовой электроники.

В закрытом состоянии ПП устройства на основе карбида кремния обладают сопротивлением около одного ГОм из-за чего обладают меньшими токами утечки, что позволит уменьшить потери мощности. Таким образом, появляется возможность коммутировать такие токи и напряжения, для которых раньше были пригодны только электромеханические реле. В перспективе, это внесет вклад при уменьшении массы и габаритов воздушного судна.

В ПП устройствах на основе карбида кремния переходные процессы происходят быстрее, что позволит снизить потери энергии при переходе из одного состояния в другое.

Несмотря на вышесказанные достоинства, у ПП устройств на карбиде кремния есть и недостатки. Так для управления транзисторов, изготовленных с использованием этого материала, требуется использовать двухполярный источник питания, из-за чего необходимо пересмотреть организацию бортовой сети.

Карбид кремния может сыграть важную роль в частотно-регулируемых приводах. Генераторы с использованием данного материала получают возможность стать меньше и легче.

Все перечисленные свойства актуальны при создании воздушного судна на электрической энергии. Концепция полностью электрического самолета появилась с 1970-х годов. В РФ актуальность развития автономной энергосистемы и повышения её эффективности отмечена в [1], а также в энергетической стратегии России.

### **Литература**

1. **Федеральный закон** «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» от 23.11.2009 N 261-ФЗ

*А.И. Горбков, студ.; рук. И.В. Сисигин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

## **БЕЗОПАСНЫЙ БЕСПРОВОДНОЙ КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ**

По всеобщему признанию XXI век является веком информации. Практически вся жизнь современного общества связана с обменом различной информацией. С каждым годом растёт её объём, это требует разработки и внедрения высокопроизводительных каналов передачи информации.

Наиболее сложными системами передачи информации являются радиолокационные системы военного назначения, которые должны управляться дистанционно в силу их уязвимости от огневых средств противника. Примером такой системы является радиолокационная станция (РЛС) обнаружения целей с выносным пультом управления. В штатном варианте выносной пункт управления соединяется с РЛС набором кабелей, что существенно снижает её манёвренные возможности. Таким образом, существует противоречие между необходимостью обеспечения минимального времени сворачивания РЛС и существенными его затратами при использовании его с выносным пультом управления. Это противоречие обусловлено необходимостью использования беспроводных каналов передачи в такой системе и подтверждает актуальность темы данной работы.

В докладе представлено возможное разрешение данного противоречия путём разработки безопасного беспроводного канала передачи аналоговых и цифровых сигналов на основе стандартных широкополосных Wi-Fi модулей и специализированного программ, обеспечивающих скрытность и конфиденциальность передаваемых данных. Особенностью разрабатываемого канала будет возможность передачи как цифровых, так и аналоговых сигналов. Одна из проблем, которая возникает при использовании беспроводных (открытых) каналов связи — помехоустойчивость. Предлагаемая система имеет специальный алгоритм, повышающий помехоустойчивость передачи данных в сложных условиях. Результаты работы могут быть использованы в других РЛС, имеющих выносные пульта управления, а также в учебном процессе военного учебного центра при изучении цикла специальных дисциплин. В процессе работы автором изучено большое количество практического и теоретического материала, что существенно расширило круг знаний, умений и навыков в данной предметной области. Дальнейшая работа будет направлена на увеличение дальности связи и повышении скрытности передаваемой информации.



**Секция 61**  
**ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО**  
**СТУДЕНТОВ СРЕДНЕГО**  
**ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**Technical creativity of students of secondary**  
**vocational education**

---

*Председатель секции:*

*Файрушин Николай Исакович – заместитель директора филиала  
НИУ «МЭИ» в г. Конаково – Конаковского энергетического колледжа*

*Секретарь секции: Ключева Людмила Вадимовна*

*А.С. Афанасьев, студ.; рук. С.Н. Золина  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ«МЭИ» в г. Конаково)*

## **ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ»**

Физика является основой научно-технического прогресса, значение физических знаний и роль физики непрерывно возрастают. Методы и средства физического познания востребованы практически во всех областях человеческой деятельности. Применение физических знаний и умений необходимо каждому человеку для решения практических задач повседневной жизни. Изучение физики студентами неразрывно связано с выполнением практической части — лабораторными работами. Они позволяют наглядно воспринять и закрепить теоретический материал, развивают навыки практического применения законов физики в реальной жизни. Во многих учебных заведениях существует проблема слабого оснащения кабинетов физики приборами и лабораторными материалами. Из-за этого бывает сложно, а иногда и невозможно обеспечить группу всем необходимым оборудованием для проведения работы.

Виртуальная лабораторная работа представляет собой программно-аппаратный комплекс, позволяющий частично заменить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой или при полном ее отсутствии. Что является очень актуальным в настоящее время. Нами разработана виртуальная лабораторная работа «Определение плотности твердого тела правильной геометрической формы». Создание данного комплекса позволяет нам пополнить кабинет физики средствами для проведения лабораторных работ и закрепить знания по созданию программного обеспечения.

Мы не собираемся останавливаться на создании одного комплекса. Планируем сделать виртуальные лабораторные работы для всего курса физики в Филиале МЭИ КЭК. По окончании разработки лабораторных работ в планы входит добавление модуля проверки. Наша работа поможет с минимальными затратами решить некоторые проблемы оснащения кабинета физики средствами для проведения лабораторных и практических работ.

### **Литература**

1. [www.school-collection.edu.ru](http://www.school-collection.edu.ru) (Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов).

А.А. Лапин, студ. ;  
рук. С.Н. Золина, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Конаково (КЭК)

## МЕТЕОСТАНЦИЯ СВОИМИ РУКАМИ

В настоящее время влияние климатических и погодных условий на организм человека не вызывают сомнений. Доказано, что резкое повышение или понижение температуры, колебания атмосферного давления, повышение относительной влажности воздуха окружающей среды могут привести к серьезным проблемам со здоровьем у человека. Поэтому, мы приняли решение изготовить своими руками домашнюю метеостанцию.

Функциональность нашей метеостанции достаточно велика. Она обрабатывает данные, которые поступают с одного или нескольких датчиков. Такая метеостанция показывает: температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, время и дату, уровень углекислого газа.

Современные технологии призваны делать мир лучше. В ходе реализации проекта нам удалось создать удобный и современный гаджет — метеостанцию, которым с удовольствием пользуемся.



Рис. 1. Метеостанция

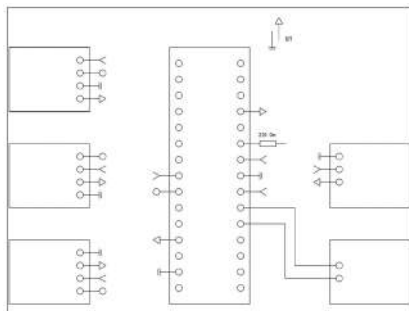


Рис. 2. Схема

*Д.В. Бетц, В.А. Евдакова, студенты;  
рук. А.Б. Кырчанов, преподаватель (филиал МЭИ-КЭК)*

## **ВТОРАЯ ЖИЗНЬ МЕТАЛЛА**



**Рис. 1.** «Змей Горыныч» и «Розы»

металлу вторую жизнь, сделав из него выставочные экспонаты. «Змей Горыныч» и «Розы» были преобразованы из груды ненужного материала в произведение искусства. Для этого использовались различные техники, которыми мы овладели на практике: резка, гибка, сварка, шабровка металлов.

Делая этот проект, мы пришли к выводу, что проблему загрязнения экологии может решить каждый из нас. Ну а творческие люди могут реализовывать свою фантазию изобретая различные конструкции, предметы быта, подделки и многое другое, тем самым развивая свое мышление и фантазия, получая новый опыт.

### **Литература**

1. **Захлебный А.Н.** «Книга для чтения по охране природы». М.: Просвещение, 1986.
2. **Коноплёва Н.П.** «Вторая жизнь вещей». «Просвещение», Москва, 1993.

## **Секция 62**

# **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ**

## **Electric power industry of Central Asia**

---

*Председатель секции:*

*к. т. н. Ниёзи Сироджиддин Ражаббоки — начальник управления науки и инновации при Министерстве образования и науки Республики Таджикистан*

*Секретарь секции:*

*к. т. н. Исмоилов Фирдавс Олимшоевич — зав. кафедрой «Электроснабжение» Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими*

*Ф.К. Панжиев, студ.; О.Э. Бабаев, асп.;  
рук Р.Х. Бейтуллаева, доц. («КИЭИ»Узбекистан г.Карши)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ CAS В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

С помощью дата-центров удаётся хранение и обработка данных по учёту электрической энергии и правильному формированию почасовых, суточных, месячных и годовых балансов потребления электрической энергии. Электронные счётчики подключены к биллинговой системе CAS которая автоматически отключает от сети потребителей должников, а также автоматически подключает после оплаты задолженности.



**Рис. 1.** Лабораторный стенд АСКУЭ

Мини дата-центр преподаватели кафедры «Электроэнергетика» совместно с «Кашкадарьинскими электрическими сетями» создали на базе лаборатории АСКУЭ. Дата-центр непосредственно подключён к действующим сетям. На стенде установлен концентратор данных HSD22, однофазные и трёхфазные счётчики активной энергии на 5 и 100 Ампер, трансформаторы тока, в качестве нагрузки лампы накаливания. Концентратор данных HSD22 предназначен для эффективного сбора данных с электрических счётчиков и одновременной коммуникации с центральной управляющей системой MDM. В базовой версии концентратора применяется PLC PRIME технология связи для сбора данных со счётчиков. [1]

Для связи с центральной управляющей системой MDM в концентраторе может использоваться канал связи Enternet или GPRS. Концентратор управляется с помощью WEB браузера с любого компьютера. По телевизору Smart TV студенты на занятиях по предмету «АСКУЭ» наблюдают за работой и данными подстанций — напряжением и током, потреблением активной и реактивной мощностей, незаконное потребление электроэнергии и задолженности по электроэнергии. Преимущества применения системы CAS: минимизирует человеческий фактор, исключает случаи незаконного подключения и коррупции, отображает нагрузку всех электростанций, подстанций, трансформаторов, работа в режиме онлайн использования геолокации.

### **Литература**

1. **А.Н. Ожегов.** Системы АСКУЭ. // Изд-во ВятГУ, 2006. — 102 с.

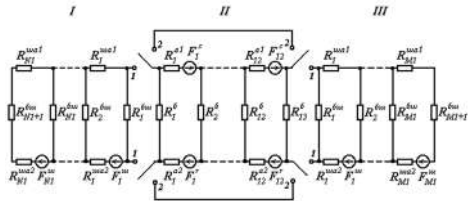
Ш.Б. Равшанов, студ.; А.Б. Имомназаров, асп.;  
Р.Х. Бейтуллаева, соиск.; рук. Р.Ф. Юнусов, доц.  
(«ТИИИМСХ», «КИЭИ» Узбекистан)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАТВОРОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Среди проблем, стоящих перед АПК важное место занимает комплексная электромеханизация и автоматизация технологических процессов, повышение эксплуатационной надёжности, экономичности и производительности машин и оборудования [1]. В состав механического оборудования входят: затворы, подвижные конструкции для перекрытия и регулирования расходов, уровней, перепадов уровней, объёмов воды в бьефах сооружений; подъёмно-транспортные механизмы и захватные балки для подъёма и транспортирования затворов и др., монтаж и демонтаж оборудования и его транспортирования; устройства для очистки решёток и вывоза сора.

Для оперативного контроля и автоматического управления параметрами водоподачи эффективны индукционные преобразователи. На рис. 1 приведена схема замещения магнитной цепи машины. На основе детализированных схем замещения получена математическая модель электромеханических переходных процессов индукционного преобразователя при его питании от источника напряжения любой формы, заданной аналитически или таблично.

Наличие нелинейных элементов в электрической цепи индуктора моделируется нелинейностью параметров её схемы замещения, рассчитываемых для каждого момента времени по заданному алгоритму. Различные режимы питания моделируются соответствующим формированием вектора приложенных напряжений. Излагается методика расчёта статических характеристик короткозамкнутого асинхронного двигателя на основе детализированных схем замещения при использовании комплексных амплитуд синусоидальных величин.



**Рис. 1.** Схема замещения магнитной цепи машины: индукционный преобразователь с разомкнутым магнитопроводом — замкнуты контакты 1; (I, III) — зоны шунтирования, II — зона сердечника индуктора; индукционный преобразователь с замкнутым магнитопроводом — замкнуты контакты 2

### Литература

1. **Веселовский О.Н.** Линейные асинхронные двигатели. // М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.

*Д.Р. Шамсудинов, студ.;*  
*рук. Х.С. Саидзода, к.т.н., доцент*  
*(ТТУ имени академика М.С. Осими)*

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ РЕСУРСОВ В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Изучив климатические характеристики разных регионов Республики Таджикистан, для дальнейших расчетов было рассмотрено села в Файзабадском районе как наиболее перспективные районы [1]. В этом районе наиболее благоприятные природно-климатические условия для ветро — и солнечной энергетики, а также выгодное географическое расположение, в том числе близкое размещение к реке Элок, которая также может быть задействована в качестве источника электроэнергии. Однако для окончательного выбора региона необходимо учесть тот факт, что с увеличением высоты увеличивается и скорость ветрового потока, а высота современных наземных ветроэнергетических установок (ВЭУ), может достигать и 130 м, поэтому проведем дополнительный анализ для получения более содержательного результата. Для оценки целесообразности использования энергии ветра в выбранных районах, воспользуемся глобальной метеорологической системой базой данных «Расписание погоды» [2], содержащей необходимые для проведения соответствующих расчетов данные для десятилетнего периода с 2011 по 2021 гг. В связи с тем, что метеостанции в районе нет мы воспользуемся данными ближайшей метеостанции Чормагзак, место нахождения 38° 25' с.ш., 69° 10' в.д. На основе проведенных расчетов, было получено следующие результаты: Скорость ветра на высоте флюгера составляет м/с. Для целесообразности использования энергии ветра, скорость которой составляет 4,57 м/с, согласно [1] требуется экономическое обоснование. Учитывая, что скорость ветра на высоте 50 м в Файзабадском районе составляет 6,27 м/с и современные ВЭУ могут достигать высоты и до 130 м, в районе целесообразно и перспективно использование энергии ветра как источник электроэнергии. Подводя итоги, можно утверждать, что условия для развития ветроэнергетики и использование ветровых ресурсов в Файзабадском районе весьма благоприятные при условии использования ВЭУ высотой не менее 50 м. Для применения ВЭУ меньшей высоты требуется экономическое обоснование целесообразности использования энергии ветра в данном регионе.

### **Литература**

1. Sangov K.S., Tsyruk S.A., Mikheev D.V., Giyoev B.M., Charafeddine K.F. Economic efficiency of using a windmill for supplying power to remote rural consumers in the republic of Tajikistan. В сборнике: Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019. 2019. С. 1047–1053.
2. Погода в Чормагзаке [Электронный ресурс] // Расписание погоды. — Режим доступа: [http://rp5.ru/archive/Погода\\_в\\_Чормагзаке](http://rp5.ru/archive/Погода_в_Чормагзаке) (дата обращения: 20.10.2022 г.).



А.А. ХАКИМОВ, студ.;  
 рук. Ф.О. ИСМОИЛОВ, к.т.н., и.о. доцента  
 (ТТУ им. академика М.С. Осими)

## АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СНИЖЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

Коммерческие потери являются важнейшей проблемой энергосистемы не только в Республике Таджикистан, но и ряда других стран. При этом очень важно, чтобы эти потери были минимизированы непосредственно при учете электроэнергии у потребителей. На сегодняшний день над решением этой задачи работают многие исследовательские институты и организации.

С целью уменьшения коммерческих потерь в Республике Таджикистан принято решение заменить все аналоговые счетчики электроэнергии на цифровые, работающие по принципу биллинга. Данное решение является целесообразным, так как значительная часть электроэнергии теряется при учете. Таким образом коммерческие потери

сводятся к минимуму и сокращается количество контроллеров. По утверждениям ОАХК «Барки точик» при переходе с аналоговой системы учета на биллинговую суммарные коммерческие потери снизятся с 18–19% до 9–10%. Данные показатели были рассчитаны при анализе эффективности работы счетчиков с биллинговой системой. Результаты анализа наглядно показаны на рис. 1.

Анализируя график приведенный на рис. 1, следует сделать вывод, что переход на новую систему учета является более эффективным техническим мероприятием для уменьшения коммерческих потерь.

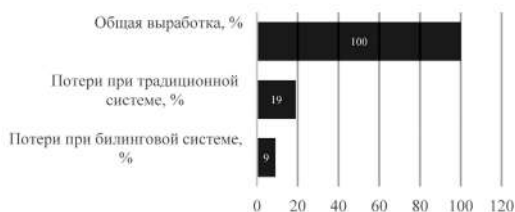


Рис. 1. Изменение коммерческих потерь при переходе на биллинговую систему

### Литература

1. **Фурсанов, М.И.** Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем—Минск: / М.И. Фурсанов. — Минск: Белэнергосбережение, 2006. — 207 с.

Д.Р. Шамсудинов, студ.; рук. Х.С. Саидзода, к.т.н., доцент  
(ТТУ имени академика М.С. Осими)

## РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Оценка и анализ надежности энергоустановок автономной ветродизельной станции с использованием логико-вероятностного метода на основе дерева отказов, предложенный в [1], осуществляется с помощью математической модели. С целью рассмотрения всех взаимосвязей случайных событий строится логическая блок-схема, называемая деревом отказов, в которой используются элементы, подразделяющие и связывающие большое число событий и условий: логические операторы (знаки) и символы событий. Логические символы связывают события в соответствии с их причинными взаимосвязями. Разработаны и адаптированы модификации алгоритма с применением логико-вероятностного метода на основе динамического дерева отказа под рассматриваемую ветродизельную станцию, функционирующей с использованием ВИЭ [2], для проведения оценки и расчета показателей надежности станции, позволяющий учитывать скорости ветра, последовательность происходящих событий, анализировать состояния резервных элементов системы благодаря введению динамических операторов в дерево отказов, реализуемых с помощью марковских моделей и показана на рисунк 1.

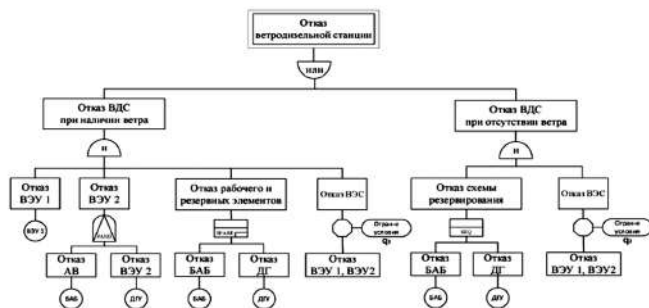


Рис. 1. Динамическое дерево отказов для автономной ветродизельной станции

### Литература

1. Эльбазуров А.Р., Титова Г.Р. Определение показателей надежности гибридных станций для автономных систем электроснабжения с использованием логико-вероятностного метода на основе динамического дерева отказов / В сборнике: Фёдоровские чтения — 2021. I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2021. С. 280–287.
2. Сангов Х.С., Исмоилов Ф.О. Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов Республики Таджикистан // В сборнике: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 17–20 ноября 2020 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. — М.: Издательский дом МЭИ, 2020. С. 403–413.

*Ш.Х. Алиев, А.А. Хакимов, студенты;  
рук. Б.С. Джамолзода, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ РЭС «ШОХМАНСУР» Г. ДУШАНБЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

Моделируется участок исследуемой сети, на котором осуществляется инструментальный контроль показателей качества электроэнергии и ходе эксперимента осуществляется сбор дополнительных данных о параметрах системы и режимах рассматриваемой сети. Проблемы качества электроэнергии из-за нелинейных нагрузок, такие как колебания напряжения и гармонические искажения, провалы из-за неисправностей, являются одними из основных вопросов, рассматриваемых в этой статье. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях способствует эффективной работе энергосистемы, созданию благоприятной электромагнитной обстановки для работы электрооборудования.

На основе электрической сети РЭС «Шохмансур» г. Душанбе разработана математическая модель системы для расчета показателей КЭ по установившемуся отклонению напряжения.

В узлах электрической сети для оценки уровня отклонения напряжения необходимо произвести расчёт установившегося режима (РУ) в режимах наибольшей и наименьшей нагрузок [1]. Расчёт УР выполнялись с помощью программы Rastrwin [2]. В данной программе расчет режима производится методом Ньютона со стартовым алгоритмом метода Зейделя.

Все промежуточные и основные узлы пронумерованы. В качестве базисного и узла выбирается узел под номером 1 — секция шин 110 кВ ПС «Северная».

Разработанные математические модели данной электрической сети РЭС «Шохмансур» г. Душанбе могут быть использованы для дальнейших исследований, так как погрешность полученных результатов моделирования составляет не более 10% от результатов измерений.

Установлены наиболее оптимальные положения РПН трансформаторов, которые приводят к уменьшению потери электроэнергии.

Определены оптимальные уровни напряжения в узлах управления энергосистемы с учетом качества напряжения и минимального энергопотребления.

### **Литература**

1. **Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С.** / Регулирование напряжения в электроэнергетических системах // М.: Энергоатомиздат, 1985. — 216 с.
2. **Владимир Неуймин.** Комплекс Rastr. Версия 3.4. Екатеринбург-1999.

*С.С. Пардаев; Ф.С. Собиров, PhD.; рук. М.В. Шамсиев,  
к.т.н., доцент (филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)*

## **ЭЛЕКТРОСВАРОЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАБОТЫ В ЗОНЕ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

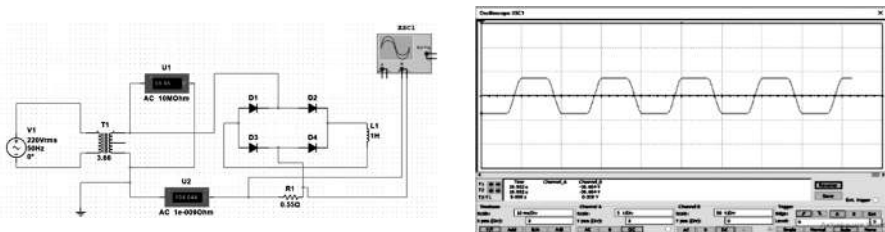
Электролизные цехи по получению алюминия являются примером предприятий с наличием сильных магнитных полей. В них используются токи 170 кА и выше. Магнитное поле в данных предприятиях оказывает сильное влияние на параметры электросварочной дуги ухудшая качество получаемых в результате сварных швов [1].

В связи с этим в работе предлагается новая схема электросварочного аппарата, обеспечивающая устойчивость горения сварочной дуги и существенное уменьшение разбрызгивания металла сварочной ванны. Приведены результаты экспериментальных исследований и расчетов основных параметров предлагаемой электросварочной установки.

Основной целью разработки является получение прямоугольной формы кривой выходного тока. Это позволит производить сварку на переменном, резко переходящем токе с постоянным значением тока по модулю. Таким образом процесс сварки будет производиться без гашения дуги.

Сварочный трансформатор последовательно соединяется с выпрямительным мостом и катушкой индуктивности (катушка соединена параллельно). Выпрямительный мост состоит из четырех диодов и предназначен для подключения катушки индуктивности на постоянном токе. Катушка индуктивности в данной схеме служит для получения формы выходного тока близкой к прямоугольной. В этом случае падающая внешняя характеристика получается за счет наличия катушки индуктивности.

Необходимая индуктивность для получения прямоугольной формы выходного тока была определена по результатам опытов, проведенных в программном комплексе Multisim. Схема была исследована при разных значениях индуктивности.



**Рис. 1.** Принципиальная схема опыта и осциллограмма тока в нагрузке

### **Литература**

1. **Шмарловский И.Н.** Разработка мероприятий по защите сварочной дуги от внешних магнитных полей. Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: Сибирский федеральный ун-т, 2011 г, том-3.

*Ч. Манучехр, студ.;  
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)*

## **ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СХЕМ ГЛУБОКОГО ВВОДА НАПРЯЖЕНИЕМ 35/0,4 КВ КОМПАНИИ «ПАМИР ЭНЕРДЖИ» В ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ГБАО**

Большая длина ЛЭП электрических сетей напряжением 35/6–10/0,4 кВ, расположенных в горных ущельях, направленных, как правило, в одном направлении, приводили к значительным потерям напряжения. Отклонения напряжения на вводе в жилые дома отдалённых населённых пунктов, превысило 20%. Практически электроприёмники при таком напряжении на их зажимах, не могли выполнять свои функции. Потери мощности и соответственно электрической энергии выходили за пределы фантастических цифр.

В этих условиях после образования компании «Памир Энерджи» в Республике Таджикистан в 2008 г, она приступила к решению существующих проблем с качеством электроэнергии и снижения потерь в ней. Были рассмотрены несколько вариантов реконструкции электрических сетей. Наиболее теоретически выгодным оказался использования глубокого ввода напряжением 35/0,4 кВ без промежуточного напряжения 10 кВ. При этом суммарная длина линий электропередачи напряжением 35 кВ составляет более 500 км, расположенного вдоль границ с Афганским эмиратом, и обеспечивающим обе стороны приграничных районов, электрической энергией.

Специалисты в области электроэнергетики, никогда не могут поверить о возможности передачи электроэнергии на такие расстояния напряжение 35 кВ. Она обеспечивается наличием в районных центрах малые ГЭС мощностью от 200 до 500 кВт, расположенных от основного источника ГЭС «Памир – 1» 28 МВт и Хорогской ГЭС — 8,7 МВт на большие расстояния. Напряжение 35 кВ производится соединения между собой ГЭС, и одновременно, отпайкой к линии присоединяются ПТП 35/0,4 кВ. Строительства малых ГЭС в дол всей сети, продолжается. Поэтому средняя длина линий электропередачи на напряжении 35 кВ между ИП составляет около 35 км, и с вводом новых малых ГЭС, уменьшается. По сути, это замкнутые сети с ГЭС минимальной мощности.

Переход на глубокий ввод напряжением 35/0,4 кВ в целом, значительно улучшило качества напряжения и снизило потери электроэнергии в 1.5 раза. Снижение потерь электроэнергии происходит, как за счёт сокращения промежуточных ТП 35/6–10 кВ и ЛЭП напряжением 6–10 кВ, так и за счёт снижения потерь в самой ЛЭП 35 кВ. Оно также происходит за счёт значительного сокращения длины распределительной сети 0,4 кВ. Значительно сокращается обслуживающий технический персонал, почти в 2 раза. Правда возрастает безработица.

*А. Довудзода, студ.;*

*рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)*

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГБАО ПУТЁМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Реконструкция системы электроснабжения Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан с переводом электрических сетей на напряжения 35 кВ с непосредственным преобразованием на 0,4 кВ в большинстве административных районов в значительной степени улучшил основные показатели систем электроснабжения. Однако из-за значительной реактивной мощности, обусловленной низким коэффициентом мощности, в ряде местности, в особенности вдали от источников питания, происходит значительные потери напряжения. Бывают случаи, когда для повышения напряжения, отдельные генераторы ГЭС переводятся в режим синхронного компенсатора. Возможно, что в летный период, такое решение оправдывается тем, что в системе имеется некоторый избыток мощности, поскольку электроэнергия в основном используется населением в быту. В зимний период коэффициент мощности возрастает за счёт увеличения активной нагрузки. Однако потребление реактивной мощности не происходит. Реактивная составляющая потери напряжения за счёт протекание по сети реактивной мощности, сохраняется. В этих условиях перевод генератора в режим синхронного компенсатора, явно не целесообразно, так как в системе электроснабжения имеется дефицит генерируемой активной мощности.

На наш взгляд, для целей компенсации реактивной мощности с целью повышения напряжения, целесообразно, на участках сети, расположенных на значительном расстоянии от источников питания на стороне напряжения 0,4 кВ трансформаторов ПТП, присоединить конденсаторные установки, как правило, небольшой мощности. Это одновременно снижает также потери активной мощности от протекания реактивной мощности в сети.

Для выбора мощности конденсаторных установок, необходимо для низкой стороны каждой ПТП, построить суточные зимние и летные графики активной и реактивной электрических нагрузок. В настоящее время такие графики отсутствуют. Наличие графиков электрических нагрузок отдалённых ПТП, позволяет не только произвести правильный выбор мощности конденсаторных батарей, но и выбрать режим их работы с целью регулирования их мощности в зависимости от изменения напряжения на вторичной стороне трансформатора ПТП. Таким образом, возможно поддержание напряжения на допустимом уровне на вводе потребителей, как в часы минимума, так и максимума электрических нагрузок. При этом генераторы ГЭС частично освобождаются от выдачи реактивной мощности, что в целом выгодно для систем электроснабжения.

*Д. Рахмонов, студ.;  
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. М.С. Осими)*

## **ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГБАО ПУТЁМ УСТАНОВКИ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Глубокий ввод напряжением 35/0,4 кВ системы электроснабжения Горно-Бадахшанской Автономной Области Республики Таджикистан полностью обеспечивает допустимый уровень напряжения на вводах потребителей, если потребители расположены между генерирующими источниками питания. При этом на шинах отдалённых потребительских трансформаторных подстанций (ПТП), осуществляется компенсация реактивной мощности.

Вместе с тем имеются участки сети значительной протяжённости, где источником генерации всего один. К таким участкам относится электрическая сеть Хорог-Рошткала, длиной до конечных потребителей около 60 км и ГЭС «Памир – 1» до селение Гармчашма — около 50 км. На этих участках электрических сетей сооружение у конечных потребителей ГЭС в отличие от других мест, нет возможности. Сооружение ветряных и солнечных электростанций вполне возможно. Однако они достаточно дорогостоящие и сооружения их в ближайшее время маловероятно. Поэтому наиболее технически возможным и экономически целесообразным, является установки в рассечку линий электропередач напряжением 35 кВ, вольтодобавочных трансформаторов.

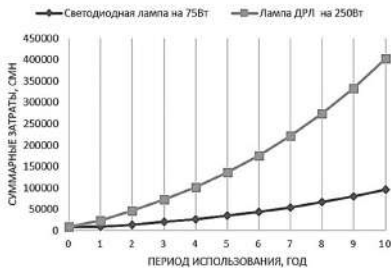
В настоящее время по направлению к селению Гармчашма, существует электрическая сеть от ГЭС «Памир – 1» до посёлка Вир на расстоянии 24 км. На подстанции Вир напряжение 35 кВ преобразовывается в 10 кВ. На этом напряжении осуществляется электроснабжение ближайших населённых пунктов. Одна линия от этой подстанции напряжением 10 кВ направлена для электроснабжения населённых пунктов в направлении селение Гармчашма на расстоянии до 20–25 км. Нагрузка на линии, в основном, бытовая и имеет ограничения в зимний период. При снятии ограничений, а это естественный процесс, нагрузка этой сети резко возрастает. Напряжение снижается ниже допустимого уровня. Поэтому было бы целесообразным на подстанции «Вир» наряду с понижающим трансформатором 35/10 кВ, установить вольтодобавочный трансформатор, присоединённый к линии 35 кВ и продолжить её до селения Гармчашма. Тем более, что габарит существующей линии напряжением 10 кВ, соответствует напряжению 35 кВ. Заменить приходится только трансформаторов ПТП, предназначенных для питания отдельных населённых пунктов с напряжения 10/0,4 кВ на напряжение 35/0,4 кВ, что не требует больших затрат.

В направление посёлка Рошткала, с учётом строящегося мини ГЭС, между ним и Хорогской ГЭС, вольтодобавочный трансформатор, целесообразно установить выше этого посёлка, по направлению к конечным потребителям, на расстояние до 20 км от последних потребителей.

А.А. ХАКИМОВ, студ. ;  
рук. Ф.О. ИСМОИЛОВ, к.т.н., и.о. доцента  
(ТТУ им. академика М.С. Осими)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП НА ЛАМПЫ ДРЛ В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В системе освещения действующих промышленных предприятий Республики Таджикистан до сих пор широко используются люминесцентные ртутные разрядные лампы повышенного давления типа ДРЛ. ДРЛ разработанные более 60 лет назад, на сегодняшний день считаются морально устаревшими. Поэтому в данной работе сделана попытка определения эффективности применения современных светодиодных ламп в системе освещения производственных помещений вместо ДРЛ с учетом существующих условий. При этом экономическая часть анализа выполнена до определения срока окупаемости светодиодных ламп.



Таким образом, расчет эффективности замены лампы ДРЛ на светодиодных выполнен на примере инструментального цеха завода «Текстильмаш» в г. Душанбе с односменным графиком работы (10 ч).

В результате расчета было установлено, что срок окупаемости светодиодных ламп получается 1,5 года, этот срок может быть разным в зависимости от места установки, мощно-

сти лампы, типа светильника и других параметров. По полученным результатам можно прийти к выводу, что замена всех эксплуатируемых в промышленности ламп типа ДРЛ на светодиодные с учетом местных условий и возможностей считается довольно эффективным техническим мероприятием по энергосбережению и повышению качества электроснабжения.

### Литература

1. **Кодряну К.** Электрическое освещение–Кишинев: TEHNICA-INFO, 2013. — 400 с.



Ф.С. Сайфуллоев, студ. ;  
рук. Ш.Дж. Джураев, к.т.н. ( филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ETAP**

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой сложные, высоко организованные структуры кибернетического типа, обеспечивающие функционирование практически всех отраслей народного хозяйства. В связи с этим, при проектировании, эксплуатации и реконструкции ЭЭС приходится решать множество задач, такие как, расчет установившихся режимов, переходных процессов, оптимизация режимов энергосистем и т.п. Важнейшими инструментами решения этих задач являются математическое моделирование с использованием вычислительной техники. В настоящее время существует множество компьютерных программ, для расчета режимов работы электрических сетей. Среди которых, можно выделить программный комплекс *Etap*, так как с помощью данной программы можно рассчитать, как установившиеся, так и переходные режимы работы сети.

В данной работе, в программном комплексе *Etap* была смоделирована электрическая сеть для расчета параметров установившегося режима работы. В качестве исследуемого объекта была смоделирована подстанция Пряндильная в Хатлонской области. Анализ результатов моделирования показал, что в исследуемой электрической сети наблюдается высокий уровень потребления реактивной мощности. Значение коэффициента реактивной мощности ( $\text{tg}\varphi$ ), в рассматриваемой сети колеблется в диапазоне 0,15 до 1,12, что в разы больше по сравнению с нормативным значением – 0,4. Соответственно, это привело к увеличению величины потерь активной мощности в сетях и снижению уровня напряжения на узлах потребителей. Так, например, отклонение напряжения в разных узлах изменялось в пределах от + 5,86% до – 13,8%, что не соответствует нормативному значению ГОСТ 32144-2013, а максимальная величина потерь достигала до 11,23 %-ов от максимального значения передаваемой электроэнергии. Для уменьшения потерь электроэнергии и нормализации уровня напряжения, на шинах нагрузки были установлены устройства для компенсации реактивной мощности. После компенсации реактивной мощности максимальное значение коэффициента реактивной мощности было равно 0,3, а нижняя граница отклонения напряжения и максимальное значение потерь электроэнергии, соответственно составляли: – 2,18% и 4,15%.

*З.Р. Рахматуллоев, асп.;*

*рук. Х.Б. Назиров, к.т.н., доцент (филиал НИУ «МЭИ» в г.Душанбе)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «АКСУ»**

Повышения энергетической эффективности машинного орошения сельскохозяйственных земель в Республике Таджикистан является весьма актуальной задачей. В структуре потребления электроэнергии, на долю насосных станции, по состоянию 2021 г, приходится 22% или 4,3 млрд.кВт-час электроэнергии [1]. По результатам проведённого анализа состояния оборудования насосных станций и измеренных показателей качества электроэнергии, энергоэффективность насосных станции находятся на низком уровне. Причинами низкой эффективности насосных станций является использование морально-физически устаревшего оборудования (насосов, двигателей, системы управления, автоматизации и релейной защиты, а также отсутствие измерений всех параметров работы насосных станций).

Объектом исследования является каскад насосных станции оросительной системы «Аксу», в котором функционируют 14 насосных станции суммарной установленной мощностью 42420 кВт. На насосных станциях установлены, в основном синхронные двигатели напряжением 6кВ. Для снижения потребления электроэнергии, в экспериментальном порядке применялись раздельная система частотных преобразователей (ЧП) индивидуального регулирования. Частотные преобразователи, регулируя частоту, осуществляют точное регулирование скорости вращения СД и подачи расхода воды, не меняя момент на валу двигателя. Применение системы частотных преобразователей позволяет экономить электроэнергию до 30% за счет точного регулирования потребления электроэнергии.

В программном комплексе ETAP-19 произведено моделирование системы насосных станции с частотными преобразователями. По результатам моделирования, суммарное годовое потребление электроэнергии насосной системы до установки ЧП составило 1,625 МВт-час. После установки системы ЧП потребление уменьшилось до 1,137 МВт-час, при этом экономия составила 0,487 МВт-час, то есть 30%. После внедрения системы ЧП с диспетчерским управлением, экономия средств в оросительной системе «Аксу» может составить 14,626 миллион сомони (1,4 миллион дол. США) а срок окупаемости до 4 лет.

### **Литература**

1. **Ю.В. Шаров, В.Н. Тульский и др.** Современное состояние электрических сетей Республики Таджикистан по качеству электрической энергии // Вестник Таджикского технического университета. 2011. № 4. С. 40–50.

*Н.С. Амиров, Б.Х. Джумаев, студенты;  
рук. М.А. Балаев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)*

## УГЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ ДВУСТОРОННЕМ РАЗРЫВЕ ЛИНИИ В РЕЖИМЕ ПАУЗЫ ОАПВ

В данной статье обсуждается проблема расчета угловой характеристики синхронного генератора, связанная с ликвидацией дуговых однофазных коротких замыканий в линиях сверхвысокого напряжения (СВН). В связи с большой длиной линий СВН такие аварии составляют подавляющую долю (98%). При этом значительная часть (70%) однофазных коротких замыканий (ОКЗ) представляет неустойчивые дуговые аварии, которые могут быть успешно ликвидированы в цикле однофазного автоматического повторного включения.

Вывод точного алгоритма для определения угловой характеристики при двустороннем разрыве линии в режиме паузы ОАПВ основывается на использовании метода симметричных составляющих. На рис.1 показана схема замещения  $i$ -ой последовательности в режиме паузы ОАПВ.

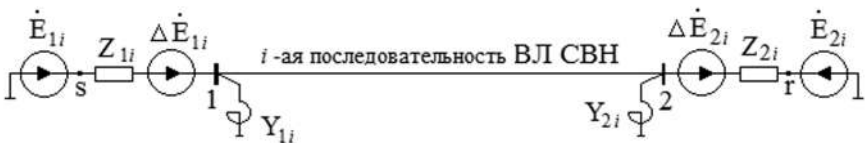


Рис. 1. Схема замещения  $i$ -ой последовательности

Результаты расчёта угловой характеристики синхронного генератора, работающего через ВЛ сверхвысокого напряжения, в паузу ОАПВ. Сравнение упрощенных способов моделирования паузы ОАПВ, когда двусторонний разрыв заменяется одним разрывом либо в начале, либо в конце линии, показало, что погрешность расчета угловых характеристик может превышать 5%. Поэтому в общем случае следует придерживаться предложенного строгого способа моделирования паузы ОАПВ при определении угловой характеристики синхронного генератора, работающего на длинную линию

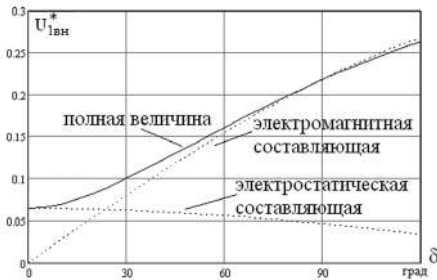
### Литература

1. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений / под ред. Левинштейна М.Л. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
2. **Веников В.А.** Дальние передачи. Госэнергоиздат, 1960, 316 с.
3. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / Под ред. Файбисовича Д.Л. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006, — 290 с.

*Н.С. Амиров, Б.Х. Джумаев, студенты;  
рук. М.А. Балаев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)*

## ВЛИЯНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ВТОРИЧНЫЙ ТОК ДУГА

С точки зрения возмущающих воздействий на примыкающие системы существенное значение имеет способ ликвидации коротких замыканий в линии. Возникающие на линии неустойчивые ОКЗ сопровождаются минимальными возмущениями на примыкающие системы, если они ликвидируются в цикле однофазного автоматического повторного включения. В этом случае повреждённую фазу линии отключают с двух сторон, а затем через определенное время, так называемую бес-токовую паузу, автоматически повторно включают.



**Рис. 1.** Зависимость ВН от угла между концевыми напряжениями

На рис. 1 показано влияние угла между напряжениями по концам идеально транспонированной линии на ВН.

При анализе целесообразно выделить электростатическую и электромагнитную составляющие для ВН и соответственно для ВТД. Электростатическая составляющая определяется подпиткой со стороны здоровых фаз через междуфазные ёмкости. Электромагнитная составляющая определяется э.д.с. взаимной индукции, наведённой в аварийной фазе токами здоровых фаз.

### Литература

1. **Беляков Н.Н., Рашкес В.С., Левинштейн М.Л., Хорошев М.И.** Перспективы применения ОАПВ в электропередаче 1150 кВ // Электропередачи 1150 кВ. Кн. 1., М.: Энергоатомиздат, 1992. — С. 129–158.
2. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения // Под ред. Г.Н. Александрова, Л.: Энергоатомиздат, 1993. — 560 с.

*А.А. Хакимов, студ.;*  
*рук. Ф.О. Исмоилов, к.т.н., и.о. доцента*  
*(ТТУ им. академика М.С. Осими)*

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ 20 КВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

На сегодняшний день более 50% электроэнергии в Республики Таджикистан потребляется населением городов и сельских местностей. Вместе с тем, в текущем году было произведено 21 млрд. кВт·ч электроэнергии, а суммарные потери электроэнергии в энергосистеме республики составляют более 20%. По этой причине в стране планируется снижение потерь электроэнергии до 10%.

Уровень потерь электроэнергии является весьма важным показателем, характеризующим эффективность эксплуатации сетей. С целью уменьшения потерь мощности и электроэнергии применяются различные организационные и технические мероприятия. Однако, следует отметить, что с их помощью пока не решается этот вопрос надлежащим образом. Поэтому, используя опыт некоторых зарубежных стран такие как США, Германия, Франция, Италия и др., в данной работе рассмотрен вопрос целесообразности использования напряжения 20 кВ в качестве напряжения распределительных сетей городов и сельского хозяйства. Класс напряжения 20 кВ не является характерным для Таджикистана, поэтому применение напряжения 20 кВ затрудняется из-за дорогостоящего сооружения ЛЭП и дефицита электрооборудования на напряжении 20 кВ.

Однако, применение напряжения 20 кВ в системах электроснабжения городов Таджикистана получается выгодным с экономической точки зрения при сооружении новых районов или масштабной реконструкции существующих сетей. В сельских электрических сетях напряжение 20 кВ получается выгодным, если плотность электрических нагрузок составит более 50–60 кВт/км<sup>2</sup> при плотности нагрузки менее 60 кВт/км<sup>2</sup> экономически целесообразным является напряжение 10 кВ. Как было получено, суммарные потери электроэнергии при реализации напряжения 20 кВ уменьшаются на 1,5 раза по сравнению с сетями 6 или 10 кВ. При этом пропускная способность увеличивается в 2,5 раза, что является весьма важной при увеличении плотности нагрузок городов или сельского хозяйства.

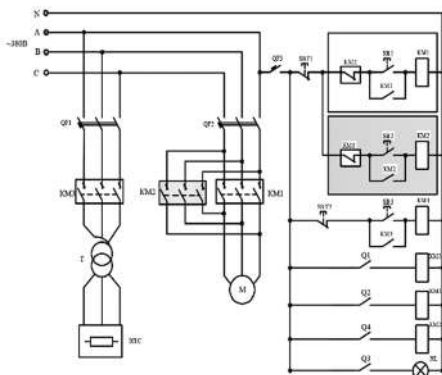
### **Литература**

1. **Федоров, А.А.** Необходимость применения напряжения 20 кВ в распределительных сетях предприятий и городов / А.А. Федоров, В.В. Каменова, А.И. Чернусский, Е.Д. Стебунова, С.Т. Сидоров // *Электричество*. — 1980. — № 8. — С. 58–59.

А.А. Хакимов, студ. ;  
 рук. Б.С. Джамолзода, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS LOGO ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрена система автоматизации электрической печи сопротивления (ЭПС) периодического действия элеваторного типа.



**Рис. 1.** Принципиальная электрическая схема силовой части системы управления элеваторной электропечи

Должно быть обеспечено, чтобы элеваторные электропечи могли быть отключены только на определенный интервал времени и снова включался до определённого заданного времени. Если заданное время превышено, то программируемые логические контроллеры (ПЛК) автоматически отключает элеваторную электропечь и 15 минут до отключения должно включаться сигнальная лампа. Принципиальная электрическая схема силовой части системы управления элеваторной электропечи изображена на рис. 1.

Применение программируемого контроллера LOGO [1] с целью автоматизации циклов обработки сырья элеваторными электрическими печами сопротивления периодического действия:

1. При использовании ПЛК LOGO! в зависимости от типа обрабатываемого сырья всегда есть возможность быстро перепрограммировать техно-логическую схему. В противном случае, возникает необходимость целиком изменять схему управления устройством что занимает дополнительное время.
2. Автоматизация процессов обработки сыры путем применения LOGO исключает ошибки, связанные с человеческим фактором, в результате чего повышается качество обслуживания печи и обработки сырья.

### Литература

1. **О.И. Максимычев, А.В. Либенко, В.А. Виноградов** / Программирование логических контроллеров (PLC) // учеб. пособие. — М.: МАДИ, 2016. — 188 с.

А.А. ХАКИМОВ, студ. ;  
 рук. С.Г. Джононаев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)

## ЛИКВИДАЦИЯ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ДВУХЦЕПНОЙ ВЛ

Двухцепные линии нередко используются в дальние линии электропередачи (ДЛЭ), что позволяет повысить их пропускную способность и надёжность работы. При возникновении однофазного короткого замыкания (ОКЗ) на одной из цепей целесообразно осуществлять её отключение на время, достаточное для устранения устойчивых ОКЗ. Дело в том, что заметный процент ОКЗ является устойчивыми и поэтому при использовании быстродействующего автоматического повторного включения есть вероятность включения линии на неустранившееся ОКЗ, что усугубляет характер динамического перехода. Более того, с позиций надёжности линий может секционироваться на участки (Рис. 1), так что ликвидация повреждения осуществляется отключением аварийной цепи соответствующей секции.

При длине линий, не превышающие 350–400 км обычно используются несекционированные двухцепные дальние линии электропередачи (Рис. 2). В работе рассмотрен характер динамического перехода для таких дальних линий электропередачи при ликвидации однофазного короткого замыкания путем отключения аварийной цепи.

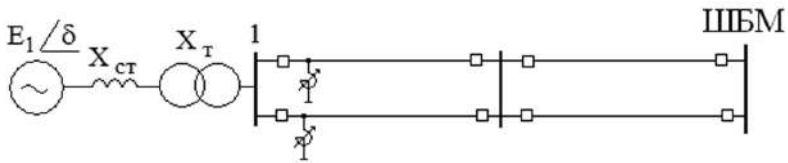


Рис. 1. Секционированная двухцепная ДЭП

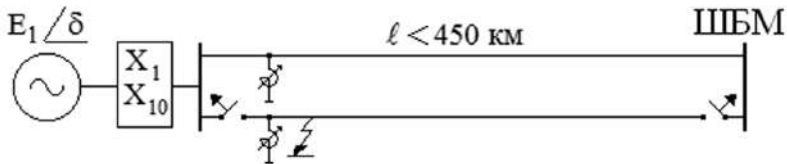


Рис. 2. Ликвидация ОКЗ в несекционированной двухцепной ДЭП

### Литература

1. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические вопросы. Т. 1: Электропередачи переменного тока [Текст] / под общ. ред. А.Ф. Дьякова. — Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорация «ЕЭЭК», 2012. — 696 с.

*Б.Дж. Джамшедзода, С.Р. Саидов, студенты;  
рук. Х.Д. Бобоев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе)*

## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ 6–35 КВ**

Обеспечение электробезопасности в условиях открытых горных работ зависит от решения ряда вопросов, среди которых одним из основных является контроль сопротивления изоляции фаз сети относительно земли.

В режиме эксплуатации на изоляцию электрооборудования воздействуют электрические, тепловые, механические и другие нагрузки. Они вызывают в изоляции сложные процессы, следствием которых является постоянное ухудшение свойств, именуемое старением [1–3]. Своевременное обнаружение участков сети с пониженным сопротивлением изоляции является одним из основных мероприятий, позволяющих предотвратить поражение электрическим током и поддержать бесперебойное электроснабжение [1].

Кроме того, надежность работы электрооборудования и безопасность его эксплуатации непосредственно связаны с параметрами изоляции электрооборудования и, прежде всего, величиной емкости и активного сопротивления изоляции относительно земли. Контроль этих параметров в процессе эксплуатации электрооборудования позволяет повысить эффективность работы электрооборудования, качество технологического процесса.

Если в процессе эксплуатации электрооборудования выявлять линии электропередачи, в которых процессы старения изоляции достаточно выражены и заблаговременно выводить их ремонт, то можно добиться значительно повышения надёжности и безопасности электроснабжения.

В докладе приводится способ определения сопротивления изоляции сети с изолированной нейтралью, основанный на анализе режимных параметров сети и позволяющий организовать непрерывный контроль за состоянием изоляции линий электропередачи электрической сети.

### **Литература**

1. **Бобоев Х.Д.** Обеспечение безопасности в распределительных электрических сетях горнодобывающих предприятий Республики Таджикистан: специальность 05.26.01 «Охрана труда (электроэнергетика)»: дис. на соис. уч. степ. к.т.н. / — Челябинск, 2021. — 175 с.
2. **Сидоров А.И., Бобоев Х.Д.** Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели // Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 9. — С. 24–29.
3. **Бобоев Х.Д., Аверьянов Ю.И., Богданов А.В., Кравчук И.Л.** Организация контроля изоляции в распределительной сети карьера «Тарро» // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. — 2021. — Т. 21. — № 4. — С. 57–65.



*М.У. Полуэктова, С.Б. Мирзоева, студенты;  
рук. Р.С. Ишан-Ходжаев ст. преп. (ДФ НИУ “МЭИ”)*

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН**

В настоящее время, во всём мире ведутся разработки по возобновляемым источникам энергии. Этот вопрос особенно актуален, учитывая ограниченность в мире запасов углеводородного топлива. В качестве альтернативных источников энергии могут быть использованы: солнечная энергия, гидроэнергия и биоэнергия. Вопросы использования гидроэнергии в Таджикистане находятся относительно на хорошем уровне, а использование солнечной энергии и биоэнергетики на первоначальной стадии развития, особенно биоэнергетика. Особое значение приобретает использование биоэнергии в сельских районах, учитывая, что порядка 70% населения республики проживает в сельской местности, так как имеется некоторый дефицит и сложности в транспортировке электроэнергии в отдалённых местностях.

Для преобразования биомассы применяются различные технологии, такие как термохимическое и биологическое преобразования, получая газообразное, жидкое или твердое топливо, а также органические удобрения. Однако, в Таджикистане биомасса используется только для приготовления пищи и отопления в осенне-зимний период, т.е. прямое сжигание, являющееся нерациональным использованием потенциала биомассы.

В качестве сырья для биотоплива можно использовать отходы сельскохозяйственного производства и коммунально-бытового хозяйства.

По результатам расчетов, при среднем выходе сухого навоза в 2 кг от одной коровы, можно получить электроэнергии 1.82 кВт·ч/сут, что соответствует мощности 0.076 кВт. Приняв общее количество крупного рогатого скота в Таджикистане равным 2,0 млн., годовой ресурс может составить 152 МВт, с выработкой электроэнергии 1329 млн. кВт·ч. Использование отходов коммунально-бытового хозяйства, при численности городского населения порядка 1,5 млн. человек, позволит получить товарного биогаза в объеме более 10,5 млн.м<sup>3</sup>, используя сточные воды и органические бытовые отходы, а выход органических удобрений составит при этом свыше 65% от отходов.

### **Литература**

1. **Петров Г.Н., Ахмедов Х.М. и др.** Ресурсы возобновляемых источников энергии в Таджикистане и возможности их использования. — Душанбе 2009.

М.Н. Давлятова, студ.; рук. З.С. Ганиев, ст. преп. (ДФ НИУ «МЭИ»)

## ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ В 21 ВЕКЕ

Традиционными энергоносителями являются ядерная, угольная, газовая, мазутная, гидро-, ветро-, геотермальная виды энергии. Все они, за исключением гидро и ветро-, геотермальной видов, являются невозобновляемыми источниками энергии. Развитие промышленного потенциала стран мира требует большего количества энергии. Происходит рост потребления всех видов ископаемого топлива, ресурсы которого ограничены. Например, использование нефти. Нефть считается основным энергоносителем, составляя треть мирового потребления. Идет увеличения потребления, но доля нефти, в суммарном потреблении, год за годом постепенно уменьшается. Спрос на нефть в августе 2022 году составил 99,4 млн. барр./суток, что на 1,61% больше чем августе 2021 года. Прогнозируется, что в конце 2022 года и в начале 2023 году усилятся потребление связи с замещением газа генерации электроэнергии в Европе.

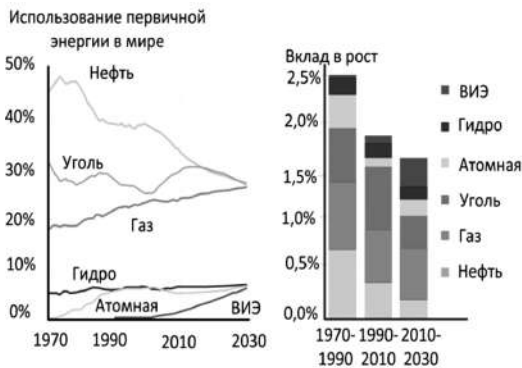


Рис. 1. Состояние и прогнозы использования энергии в мире

Как видно из рисунка 1, в перспективе доля нетрадиционных источников в генерации электрической энергии возрастает, а суммарная доля углеводородного топлива уменьшается.

При нынешних темпах развития стран мира, мировые запасы природных ресурсов истощатся через 200–1000 лет уголь, 50–120 лет природный газ, 40–200 лет нефть, 60–80 лет уран. В связи с этим встает вопрос диверсификации использования всех видов энергоносителей.

Возникает необходимость использовать в больших объемах нетрадиционные источники энергии, такие как, солнечная, ветровая, геотермальная, приливная и биоэнергия.

### Литература

1. Васильев Ю.С., В.В. Елистратов и др. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумулирование: учебное пособие, СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 1995.

*М.Ш. Раджабов, М.И. Исроилзода, PhD; Ф. Рахим, студ.;  
рук. Ш.М. Султонзода, к.т.н., доцент  
(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе)*

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАЙРАККУМСКОЙ ГЭС**

Электроэнергетика является ведущей отрасли промышленности Республики Таджикистана. В пути его развития стоит целый ряд специфических проблем, обусловленных особенностями энергетического производства и структурой электроэнергетики Таджикистана. Кайраккумское водохранилище, расположенное в Таджикистане, имеет общий объем 3,4 млрд. м<sup>3</sup> и полезную емкость 2,5 млрд. м<sup>3</sup>. Колебания притока и пусков в общем совпадают, что означает, что из него спускается столько воды, сколько в него поступает. На силовой станции установлено шесть двойных регулируемых турбин Каплана мощностью в 21 МВт при расчетном напоре в 17 м, которые могут эффективно функционировать в относительно широком диапазоне напора и сброса и в среднем должны генерировать 700 ГВтч/год. Изменение режима регулирования будет влиять на речной сток и ежемесячную выработку электроэнергии ниже по течению и поэтому может привести к нежелательным последствиям. Вместе с тем годовую выработку электроэнергии можно увеличить, если обеспечить заполнение Кайраккумского водохранилища до отметки, близкой к НПУ, в период с июня по октябрь.

Можно рассмотреть несколько возможных путей оптимизации выработки электроэнергии, которые потребуют внесения лишь сравнительно незначительных изменений в существующие структуры и оборудование. Эти практические моменты следует будет изучить более подробно; однако это выходит за рамки настоящего исследования.

- Использовать часть резервного объема для приема избыточного притока воды в результате паводков для увеличения объема воды в водохранилище;
- Повысить мощность генераторов и системы контроля в ходе запланированной модернизации;
- Изменить режим эксплуатации.

Другие меры потребуют внесения существенных изменений в существующую инфраструктуру (и, соответственно, значительных расходов):

- повышение высоты плотины;
- улучшение сотрудничества и координации с операторами плотин, расположенных выше по течению;
- установка дополнительных генераторов.

### **Литература**

1. **Филиппова Т.А.** Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник / Т.А. Филиппова. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. — 300 с. — (Серия «Учебники НГТУ»).

*И.Х. Махмудов, PhD; А.С. Зоиров, магистр; Ш.Х. Пирова, ст. пр.  
(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе)*

## МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Одной из основных задач эксплуатации гидроагрегатов на энергосистемы является обеспечение надежности их работы. Обеспечение надёжной работы в определенной степени решается путем профилактических мер контроля и испытаний гидроагрегатов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям агрегатов. Для повышения эффективности диагностики технического состояния гидрогенераторов необходимо разработка новых и совершенствование существующих методов и средств обнаружения признаков дефектов. В настоящее время важнейшими из таких признаков являются местные нагревы и вибрации, а также частичные разряды в изоляции обмоток статора гидрогенераторов. Зарождение экспертных диагностических систем начиналось с появления ограниченных систем контроля состояния гидрогенератора. На рисунке 1 приведена структурная схема данной системы, установленной на гидрогенераторах корпорации Bentley Nevada.

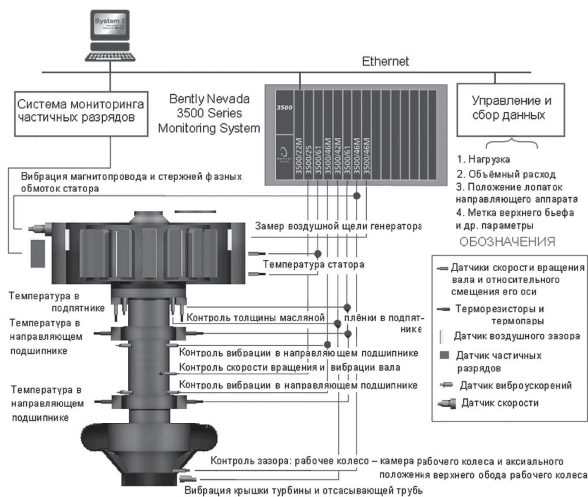


Рис. 1. Структурная схема элементов системы мониторинга System 1

Стационарные системы контроля позволяют контролировать работу гидроагрегатов в непрерывном режиме. Это позволяет идентифицировать многие дефекты на ранних стадиях. Рекомендуется замена стационарной системы на новую более современную систему, которая контролирует вибрационные параметры гидроагрегатов.

### Литература

1. Современная система контроля и диагностики турбо-и гидрогенераторов СТК- ЭР // Энергетика и промышленность России. № 12 (152) июнь 2010 года. — С. 17.

*Х.И. Усмонов, соис.; Х. Саидов, студ.;  
рук. Ш.М. Султонзода, к.т.н., доц.  
(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе)*

## ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В ОБМОТКАХ СТАТОРА КРУПНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Важным параметром при обеспечении надёжной работы электрооборудования является контроль его текущего технического состояния. Это можно обеспечить путем использования систем онлайн мониторинга [1].

Одним из важных параметров надёжной работы гидрогенераторов является снижение частичных разрядов в обмотках статора и ротора гидрогенератора. Частичный разряд в обмотке статора — это электрический разряд в пустоте между проводником и заземленной сердечником, поверхностный разряд или между фазами проводника с недостаточным расстоянием. Пустоты могут быть расположены между медным проводником и изоляционной стенкой или внутри самой изоляции, между внешней изоляционной стенкой и заземленным сердечником или вдоль поверхности изоляции.

Причиной образования пустот являются термический износ, плохая пропитка, циклическая нагрузка и т.д. Рисунок 1 иллюстрирует возможное расположение пустот между проводником и заземленным сердечником, каждая из которых может быть причиной ЧР.

Своевременное и правильное обслуживание электрооборудования и онлайн-мониторинг состояния является главным фактором надёжной работы электрооборудования в энергосистеме. При соблюдении всех требований и правильного использования метода

во время очистки обмотки изоляция не будет повреждена. Во время очистки обмотки, целесообразным является использование воздухоудвки с теплым воздухом для удаления поверхностной влаги. Онлайн мониторинг ЧР является целесообразным методом для обнаружения ряда неисправностей высоковольтного электрооборудования.

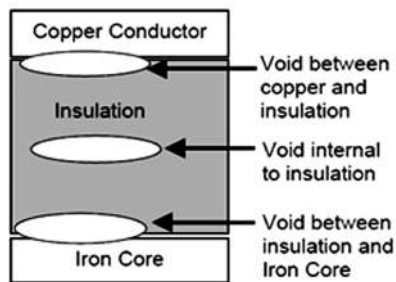


Рис. 1. Возможные пустоты между проводником и сердечником

### Литература

1. **Sultonov Sh.M., Bahovadinov A., Usmonov Kh.I.** Stator Winding Partial Discharge Rise Due to Surface Humidity // 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 2–6 Oct. 2018. Novosibirsk, Russia. pp: 449–452. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546171.

*О.Ё. Ёрмахмадзода, соиск.;  
рук. Х.Б. Назиров, к.т.н., доцент  
(филиал НИУ «МЭИ» в г. Душанбе)*

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ГОРОДА БОХТАРА ПРИ НАЛИЧИИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ**

Несимметричный режим работы электрической сети — это режим работы сетей, при котором нагрузки неравномерно распределены между фазами и электрические параметры в фазах отличаются друг от друга. Несимметричный режим в электрических сетях коммунально-бытового назначения могут возникать по нескольким причинам, в том числе неравномерное распределение нагрузок между фазами, несимметричные короткие замыкания, обрыв нулевого провода, большие сопротивление нулевого провода. Практически все электрические многофазные сети работают в несимметричном режиме, и даже те электрические сети, в котором нагрузки равномерно распределены по фазам из-за включения и/или отключения электроприёмников в разное время.

Несимметрия напряжений (ток) оценивается коэффициентами обратной  $K_{2U}$  и нулевой  $K_{0U}$  последовательности. Согласно по ГОСТ 32144-2013 установлено нормы качество электрической энергии, в том числе нормально и предельно допустимые значения несимметрии напряжений по коэффициентами  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$ : нормально — допустимые значения: 2% и предельно — допустимые значения: 4% [1].

Несоответствии перечисленных коэффициентов в соответствии [1] приведет к повышению потерь электроэнергии, повышение нагрева трансформатора, сокращение срок службы электроприёмников, появление вибрации ротора электрических машин и других отрицательных воздействии.

В связи с этим был проведён практический анализ и измерение в некоторых многоэтажных домов с многочисленным жителем города Бохтара на наличии несимметрии напряжения в летнем периоде (в месяц июля). Результаты анализов и измерение показал, что в объектах исследований несимметрия напряжений соответствовал по ГОСТу, а несимметрия по току имел существенное значения. Работы сетей с такими помехами по вышеперечисленным причинам не допускается и требует немедленного решения этих проблем.

### **Литература**

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва. Стандартинформ. — 2014. — С. 16.

*Б.Ф. Ибрагимов, PhD докторант;  
рук. Б.М. Мирзозода, к.т.н.  
(ТТУ имени акад. М.С. Осими, Таджикистан)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АЧР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО КОМПОНЕНТА АЧР В СРЕДЕ PSCAD/EMTDC**

Наиболее тяжелые последствия для энергосистемы происходят при системных авариях с возникновением большого дефицита генерируемой активной мощности и глубоким снижением частоты. Для предотвращения и ограничения лавины частоты применяется комплекс автоматики ограничения снижения частоты (АОСЧ), а именно его основная составляющая — автоматическая частотная разгрузка (АЧР). При проектировании устройств АЧР ставится соответственно вопрос минимизации ущербов от аварийного прекращения питания [1].

Устройство АЧР является одним из устройств противоаварийной автоматики (ПА), которое в некоторых из ведущих вычислительных комплексов как отдельный компонент не предусмотрено. Авторами было разработано компонент, реализующий функции автоматической частотной разгрузки в энергосистеме.

Актуальность данной работы выражается мировой тенденцией к интеграции моделирования в ЭЭС. Применение симулятора PSCAD/EMTDC позволяет наглядно, информативно и с высокой точностью исследовать сценарии функционирования АЧР. В модели использованы стандартные компоненты моделирующего комплекса и стандартные модели IEEE [2, 3].

Предлагаемый новый компонент способствует улучшению работы вычислительного комплекса, расширению его функциональности и облегчению работы пользователя. Другая важная особенность разработанного компонента заключается в том, что он разработан по принципу выполнения системы АЧР, который действует в Таджикистане и других постсоветских энергосистемах.

Многочисленное использование компонента обосновывает его работоспособность, и авторы с уверенностью рекомендуют его использование при исследовании процессов, связанных с изменением частоты и аварийного управления нагрузки в энергосистемах.

### **Литература**

1. Технические правила организации в ЭЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности. Стандарт организации ОАО «СО ЭЭС». СТО 59012820.29.240.001-2010
2. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Std. 421.5-1992.
3. EMTDC Transient Analysis for PSCAD Power System Simulation: User's Guide v4.5. — Winnipeg, Canada, Manitoba-HVDC Research Centre.

## **Секция 63 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ДОНБАССА**

---

### **Special issues of the Donbass electric power industry**

*Председатель секции:*

*к. т. н., доцент Ткаченко Сергей Николаевич — заведующий кафедрой  
«Электрические станции» ГОУВПО «Донецкий национальный  
технический университет»*

*Секретарь секции:*

*к. т. н. Гуляева Ирина Борисовна — доцент кафедры  
«Электрические системы» ГОУВПО «Донецкий национальный  
технический университет»*



*Е.А. Королева, студ.;*  
*рук. И.И. Ларина, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА**

В современной электроэнергетике проблема повышения энергетической эффективности работы электрических сетей непосредственно связана с обеспечением качества электроэнергии. Низкое ее качество, вызванное любыми причинами, может приводить к нарушениям технологии нормального производственного процесса и, даже, к повреждению электрооборудования — силовых трансформаторов, электродвигателей.

Качество работы электрических сетей, связано с особенностями электромагнитной совместимости электроприемников и питающей сети, а также общего технического состояния сетей, что в условиях Донбасса является особенно актуальным.

Большое количество подстанций (ПС) в одной из технических единиц (ТЕ) электрических сетей региональной энергопоставляющей компании ДНР функционируют в течение 42–80 лет [1]. Примерно 90% ПС напряжением 35 кВ в распределительных электрических сетях являются двух трансформаторными и имеют двухстороннее питание. Из общего количества ПС только 17% имеют телеуправление. Оснащенность устройствами телесигнализации и контроля не превышает 82%. На ПС, в основном, установлены трансформаторы мощностью 1,6–4 МВ·А. Из них 59% оборудованы устаревшими устройствами регулирования типа ПБВ и 41% — РПН. Существенным недостатком конструктивного выполнения распределительных устройств высокого напряжения ПС является установка отделителей с короткозамыкателями вместо выключателей. Согласно проводимой статистике, именно отделители и короткозамыкатели относятся к наиболее повреждаемым элементам электрических сетей. В этой связи работа, направленная на реконструкцию электрических сетей для повышения энергетической эффективности их работы является весьма важной.

В работе выполнен анализ режимов участка электрической сети 35 кВ, рассчитан ущерб от недоотпуска электроэнергии, вызванного отказами в работе упрощенных схем с отделителями и короткозамыкателями, даны рекомендации по повышению энергетической эффективности работы участка сети, определены величины инвестиций и срок их окупаемости при реконструкции отдельных участков электрических сетей.

### **Литература**

1. **Годовой отчет** ТЕ «Кировские ЭС» «Региональной энергопоставляющей компании» ДНР за 2019 г.

*М.К. Маренич, аспирант;  
рук. И.Б. Гуляева, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА ШАХТЫ**

Статистика поражений человека электрическим током в электросетях участков шахт свидетельствует о недостаточной функциональности применяемых в аппаратах защит от утечек тока на землю. Анализ их схем и особенностей функционирования позволил сделать следующие выводы:

- область применения автокомпенсаторов ёмкости изоляции сети ограничена вследствие инерционности перестройки индуктивности дросселя при ступенчатом изменении ёмкости сети;
- замыкание на землю «повреждённой» фазы в мощных, разветвлённых электросетях со значительной ёмкостной проводимостью изоляции на землю сопровождается эффектом выявления в качестве «повреждённой» — фазы, смежной с фазой касания человеком.

Таким образом, одним из весомых факторов, предопределяющих электропоражение человека, является ёмкость изоляции сети, образуемая между фазами кабеля и его центральной заземлённой жилой.

Новая концепция построения системы электроснабжения участка шахты предполагает отказ от заземления центральных жил кабелей [1]. Защитная функция при контакте фазы с корпусом нестационарной электроустановки в этом случае должна осуществляться не средствами защитного заземления, а локальными средствами контроля.

Таким средством защиты является R-VD-C-цепь, подключаемая между корпусом электродвигателя нестационарной установки и общей точкой обмоток его статора. В случае повреждения изоляции фазы и её контакта с корпусом двигателя по R-VD-C-цепи пройдёт импульс тока, что при условии последовательного соединения с данной цепью реагирующего элемента, приведёт к его срабатыванию.

Применение такого технического решения позволит реализовать новую концепцию построения системы электроснабжения участка шахты, исключая при её эксплуатации один из весомых факторов электротравматизма человека.

### **Литература**

1. Денисова Е.В., Гуляева И.Б., Маренич М.К. Специфика заземления электрооборудования участка шахты в контексте соответствия критерию эффективности защиты персонала от электропоражения / Горная промышленность. Научно-техн. и производств. журнал № 4/2022 — С. 116–124.

Д.В. Шевякин, студ. ;  
рук. А.А. Булгаков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛИКЕР-МОДЕЛИ ПРИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Одним из показателей качества электроэнергии, относящимся к быстрым изменениям напряжения является доза фликера, нормы которой для электрических сетей общего назначения установлены в стандарте [1]. Оценка производится при использовании фликер-модели, представляющую собой математическую модель канала воздействия фликера, образованного источником освещения, на глаз и мозг человека. Фликер-модель реализуется в специальном приборе — фликерметре. На вход модели поступает процесс изменения напряжения, а выходным является процесс изменения фликера, по которому после статистической обработки определяется значение дозы фликера.

В реальных электрических сетях кондуктивные помехи электромагнитной совместимости чаще всего зависят от многих случайных факторов, что определяет недетерминированный их характер. В работе рассматривается помеха в виде случайного стационарного эргодического процесса с нормальным законом распределения и экспоненциальной автокорреляционной функцией.

Предлагаемое исследование включает в себя такие этапы:

- 1) моделирование исходной недетерминированной кондуктивной помехи в виде реализаций случайного стационарного эргодического процесса и оценка качества воспроизведения числовых характеристик случайной помехи: среднего значения, дисперсии, закона распределения;
- 2) реализация фликер-модели в выбранной среде моделирования;
- 3) моделирование преобразования исходных реализаций кондуктивной помехи с помощью фликер-модели;
- 4) статистическая оценка изменения числовых характеристик процессов на выходе фликер-модели.

Результатами работы являются характеристики процессов изменения мгновенного значения фликера  $P_{inst}$ , которые позволяют оценить дозу фликера в зависимости от характеристик исходных кондуктивных помех.

### **Литература**

1. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ)». — Введ. 01.07.2014 г.

К.А. Копань, студ.;  
рук. А.А. Булгаков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВОЙНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Расчет и анализ токов коротких замыканий (КЗ) является неотъемлемым этапом при проектировании электроэнергетических систем. Уровни токов КЗ существенно влияют на капитальные вложения в проектируемую систему, поскольку являются одним из важнейших факторов при выборе основного электротехнического оборудования. Расчет токов КЗ производится не только для вновь проектируемых систем электроснабжения, но также и при реконструкции уже существующих.

В основу проектирования электрических систем положены принципы резервирования, одним из которых является учет совпадения независимых аварий. Считается маловероятным одновременное возникновение двух КЗ в разных точках электрической системы на разных уровнях напряжения. Однако в существующих электрических сетях Донбасса ещё используются упрощенные схемы подстанций (ПС) с отделителями и короткозамыкателями, в ходе эксплуатации которых искусственно создают второе КЗ. Таким образом, возникает необходимость расчета режимов, связанных с возникновением последовательных КЗ в электрической сети. Полученные значения токов и напряжений используются также для настройки и анализа работы устройств релейной защиты и автоматики. Общие положения расчетов неполнофазных и сложных видов повреждений изложены в [1].

В работе рассматривается случай одновременного и последовательного возникновения КЗ в различных точках электрической сети с упрощенными схемами ПС на высшем напряжении. Номинальные напряжения исследуемой сети составляют 35 и 10 кВ. Анализируются варианты возникновения КЗ на стороне 35 кВ при еще существующем и уже отключенном КЗ на напряжении 10 кВ. Для автоматизации расчетов и проведения анализа результатов предлагается использовать математические пакеты *Smath Studio* или *MathCAD*.

Исследуется так же эффективность применения современного программного обеспечения (*Power Factory*) для расчетов сложных видов повреждений в электрических сетях.

### **Литература**

1. **Авербух А.М.**, Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1979. — 184 с.

А.С. Нестеренко, студ. ;  
рук. А.А. Булгаков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОБОРУДОВАНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

В электрических системах возникновение несинусоидальности напряжения обуславливается в основном наличием мощной электрической нагрузки с нелинейными вольт-амперными характеристиками: тиристорные преобразователи, вентильные выпрямители, дуговые сталеплавильные печи, насыщенные магнитные системы.

Показателями качества электроэнергии по несинусоидальности напряжения являются значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_{U(n)}$  до 40-го порядка и значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения  $K_U$  в процентах в точке передачи электрической энергии. Стандарт [1] определяет вероятностный характер нормирования показателей качества электроэнергии на несинусоидальность напряжения: 95% и 100% времени измерения.

Несинусоидальность напряжения в разной мере воздействует на различное силовое оборудование в электрической системе. Оценка воздействия производится по величине дополнительных потерь активной мощности  $\Delta P$ , температуры дополнительного перегрева  $\Delta\theta$ , сокращения срока службы  $\Delta t$ .

Исследования проводятся для двух случаев. В первом варианте источником гармоник напряжения является шестифазный тиристорный преобразователь, подключенный к шинам 6 кВ. Расчет выполняется по упрощенной методике с использованием *SMath Studio* для получения результатов при различных значениях мощности преобразователя, мощности короткого замыкания на шинах и других параметров. Во втором случае рассматривается более общий вариант: кривая напряжения содержит все гармонические составляющие до 40-й включительно. Количественные значения гармоник генерируются с использованием случайного процесса. Выполняется расчет и анализ  $\Delta P$ ,  $\Delta\theta$ ,  $\Delta t$  для асинхронных двигателей 6 кВ и силовых трансформаторов различной мощности.

### **Литература**

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 01.07.2014.

*Р.А. Мошке, студ.; рук. В.Г. Черников, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОКОЛЕСА**

В связи со стремительным развитием энергетических технологий, базирующихся на использовании возобновляемых источников энергии, большое внимание уделяется развитию систем управления, которые способны обеспечить необходимое качество энергии в условиях нестабильного энергетического потока, свойственного возобновляемой энергетике. В первую очередь вышесказанное относится к ветрогенераторным установкам, которым приходится работать в условиях нестабильной, постоянно меняющейся скорости ветра.

Как показано в [1], наиболее сложным с точки зрения регулирования является режим полной нагрузки генератора, когда основной задачей является поддержание стабильной номинальной мощности генератора в условиях колебаний скорости ветра. В этом случае одновременно функционируют два контура регулирования: контур регулирования момента генератора и контур регулирования скорости вращения ветроколеса. Именно в этом режиме регулятору скорости приходится взаимодействовать с нелинейным объектом, которым является ветроколесо. Поэтому, для получения хороших динамических параметров контура скорости целесообразно применение адаптивного дискретного регулятора, подстраивающегося под изменяющиеся в процессе работы параметры ветроколеса. Для определения нелинейных параметров объекта регулирования целесообразно применение нейросети, учитывающей зависимость коэффициента мощности ветроколеса  $c_{pw}$  от быстроходности  $\lambda$  и pitch-угла лопасти. При использовании нейросети в программе регулирования дискретного регулятора необходимо обращать внимание на достаточное быстродействие управляющего контроллера, которому придется выполнять большое количество вычислительных операций в течении времени, ограниченного периодом дискретности [2].

### **Литература**

1. **Черников В.Г.** Разработка методики определения параметров адаптивного дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса / Черников В.Г. // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». — Донецк, 2022. — № 1(22).
2. **Черников В.Г.** Совершенствование программы регулирования дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса с использованием нейросети / Черников В.Г. Материалы X международной научно-практической конференции «Информационные технологии, проблемы и решения». — Уфа, УГНТУ, 2022.

*Н.Ю. Нырков, студ.;*  
*рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ РУКИ**

Человек в своем стремлении к развитию всегда упирался в ограничения своего тела. Для их преодоления он всегда разрабатывал различные инструменты, которые могли расширить его физические возможности и позволяли выйти на новый качественный уровень работоспособности. Но никакой инструмент не будет столь удобен и эргономичен чем собственное тело человека. Поэтому особое место в разработке манипуляторов занимает взаимосвязь с человеческими движениями конечностей, поскольку она реализует помощь человеку для выполнения точной и опасной работы. Недостаточно просто запрограммировать движения манипулятора или использовать косвенные методы управления, необходимо чтобы манипулятор работал синхронно с движениями человека.

Целью данной работы было разработать аппаратную часть прототипа системы управления манипулятором на основе движения человеческой руки.

На первом этапе разработки была необходимость создания нового блока управления промышленного манипулятора Cobra RS [1]. Для этого была создана имитационная модель в программном пакете MATLAB для проверки работоспособности различных методов управления электроприводом в манипуляторе. На базе модели системы управления электроприводами манипулятора был создан прототип реального оборудования, способный обрабатывать задания на угловые перемещения и угловые скорости.

Движение манипулятора возможно с применением прототипа задающего устройства, определяющего сигналы движения человеческой руки. Он состоит из платы Arduino Due, Bluetooth модуля и пяти датчиков MPU6050, способных определять кватернионы благодаря наличию встроенного Digital Motion Processor [2]. В результате получена аппаратная часть прототипа мехатронной руки человека.

### **Литература**

1. **Мирошник, Д.Н.** Модельно-ориентированное программирование системы управления шаговыми двигателями манипулятора Cobra RS / Д.Н. Мирошник, А.А. Лубенский // Инновационные перспективы Донбасса: Мат. 7-й межд. н.-практ. конф., Донецк, 24–26 мая 2021 года. — Донецк: ДОННТУ, 2021. — С. 153–157.
2. Работа с Arduino и MPU6050 (электронный ресурс) <https://alexgyver.ru/arduino-mpu6050/> [дата доступа 28.10.2022].

*Я.Г. Липовский, студ.;*  
*рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГУСЕНИЦ МОБИЛЬНОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА**

Задача управления движением сложных электромеханических объектов, к которым следует отнести мехатронные и робототехнические системы, требует от разработчиков глубоких знаний в механике, электроприводе, системах управления, программировании и пр. Также требуется достаточная подготовка в знании современных программных средств (Solidworks, MATLAB) [1].

Альтернативой, позволяющей производить расчеты управления движением, является фреймворк Robotic Operation System (ROS). Одним из его достоинств является простота расчета задач обратной кинематики для мобильного манипулятора на гусеничном ходу, разработанного на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ДОННТУ [1].

Однако в существующей системе управления гусеницами применяется контур регулирования положения, что не позволяет его использовать для задач управления движением фреймворка ROS.

Целью работы является корректировка системы управления передвижением гусениц мобильного робота манипулятора.

Для корректировки системы управления прототипа [1] было изменено регулирование перемещения гусениц на регулирование их скорости. В этой связи прототип не нуждался в аппаратном обновлении, поскольку использование инкрементальных энкодеров подразумевает вычисление скорости при помощи микроконтроллера. При этом структура системы управления приводами левой и правой гусениц изменилась. В ней при необходимости используется задатчик скорости, а регуляторы рассчитывают ШИМ в функции ошибки по скорости.

В результате использования пропорционально-интегрального регулятора ошибка в отработке скорости отсутствует, что позволяет успешно считать одометрию робота и интегрировать его с ROS.

### **Литература**

1. **Лабеев, А.В.** Разработка манипулятора с тремя степенями свободы и устройства схвата для мобильного наземного робота / А.В. Лабеев // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: ТЕЗ. ДОКЛ. 27 МЕЖД. Н.-ТЕХН. КОНФ. — МОСКВА: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2021. — С. 1180.



*В.Б. Данишурка, студ.;*  
*рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА ANDROID ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ**

Разработка прототипов робототехнического оборудования является актуальной задачей, особенно в условиях ограничений, связанных с усложнением доступа к иностранному платному программному обеспечению и аппаратным комплектующим. Здесь ошибки при проектировании особенно чувствительны, что заставляет разработчиков на этапе устранения недостатков прибегать к простым и понятным методам отладки мехатронного оборудования. К таким методам относится удобная программная среда Appinventor, которая может помочь быстро, наглядно и просто произвести отладку оборудования любой сложности [1].

Целью работы является разработка приложения для управления роботоманипулятором, которое характеризуется простым и понятным пользователю интерфейсом, а также обеспечивает непрерывную отправку сигналов управления на микроконтроллер.

Разработка приложения осуществлялась в два этапа: создание визуально-функциональной части (рис. 1), создание программного кода.

Разработанное приложение используется для отправки команд на микроконтроллер при помощи канала Bluetooth-связи.

В результате получен интерфейс в виде приложения для смартфона, позволяющий в реальном времени фиксировать состояние манипулятора и производить его отладку. Подобная разработка является предварительным отладочным средством перед роботизацией мехатронного устройства [2] с помощью Robotic Operation System.



**Рис. 1.** Вид приложения

### **Литература**

1. **Югова, Н.Л.** Разработка мобильных приложений в рамках проектной деятельности по информатике / Н.Л. Югова, А.А. Перминов // Грани познания. — 2021. — № 1(72). — С. 42–46. — EDN POU5VV.
2. **Лабеев, А.В.** Разработка манипулятора с тремя степенями свободы и устройства схвата для мобильного наземного робота / А.В. Лабеев // Радиотехника, электротехника и энергетика: ТЕЗ. ДОКЛ. 27 МЕЖД. Н.-ТЕХН. КОНФ. — МОСКВА: ООО «Центр полиграфических услуг «РАДУГА», 2021. — С. 1180.

*А.И.Денисова, аспирант;  
рук. К.Н. Маренич, д.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ДВУСТОРОННЕЕ ПОДАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ УЧАСТКА ШАХТЫ КАК НОВЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИЯ**

Шахтный участковый электротехнический комплекс — важнейший структурный компонент технологического оборудования горного предприятия, выполняющий функции как управления работой технологического оборудования, так и защиты от опасных состояний. При этом защита реализуется как отделение от участковой электросети энергетического потока трансформаторной подстанции соответствующим силовым коммутационным аппаратом. Это распространяется и на состояние, возникающее вследствие касания человеком (имеющим контакт с землёй) фазного проводника сети, находящегося под напряжением.

В этом случае защитное устройство (защита от утечек тока на землю) выявляет утечку на землю с формированием команды на защитное отключение коммутационного аппарата подстанции участка, а также фазу с цепью утечки с последующим её присоединением к земле.

Однако после таких защитных действий и отключения группового автоматического выключателя участка сохраняются коммутационные связи магнитных пускателей и присоединенных асинхронных двигателей, остающиеся под действием обратных энергетических потоков указанных электрических машин. Следовательно, концепция защитного отключения электросети в контексте обеспечения электробезопасности является недостаточной. Альтернативой является применение со стороны вводов двигателей автономно действующих средств выявления утечки тока в силовых кабельных присоединениях и формирование команды на подавление обратных энергетических потоков электрических машин. Такой подход составляет сущность концепции автоматического защитного двустороннего обесточивания шахтной участковой электрической сети [1]. Полученные положительные результаты в ходе исследования этого направления являются актуальными в части его дальнейшего развития и промышленного использования.

### **Литература**

1. **Маренич К.Н.** Теоретические основы и принципы применения защитного обесточивания рудничных участковых электротехнических комплексов: монография / К.Н. Маренич. — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. — 240 с.

*В.А. Пожидаев, студ.;*  
*рук. А.В. Захаров, асс. каф ЭАПУ (ДонНТУ, Донецк)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА AR-DRONE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ROS И GAZEBO**

В настоящее время актуальным является вопрос применения моделей роботов ввиду отсутствия доступа к физической версии. Для робота проблемы, которые кажутся тривиальными для человека, часто требуют очень сложных технических решений. Для упрощения данных задач целые группы людей создают специальные библиотеки, операционные системы, инструменты для создания приложений в области робототехники. Одной из таких операционных систем является Robotic Operation System (ROS).

Целью работы является описание процесса импорта квадрокоптера AR Drone в симулятор Gazebo с использованием ROS.

Основным достоинством ROS является возможность использования уже созданных библиотек и моделей, находящихся в общем доступе [1]. С использованием набора команд после установки ROS был установлен пакет с моделью AR Drone [2].

Для создания алгоритма движения квадрокоптера, в пакете с его моделью (подкаталог «src») был создан управляющий скрипт-файл «main.cpp», в котором прописываются все необходимые функции, а в текстовый файл «CMakeList.txt», описывающий какие протоколы должны быть инициализированы при компиляции, дописана инициализация нового файла ранее созданного нами «main.cpp». В итоге была получена управляемая имитационная модель квадрокоптера AR Drone в среде Gazebo.

На дроне установлены 2 камеры — фронтальная HD и нижняя QVGA, что позволяет использовать на аппарате технологии компьютерного зрения. Для этих целей можно использовать изображения с камер, которые публикуются (помещаются) моделью в соответствующие топики ardrone/front/image\_raw и ardrone/bottom/image\_raw.

Применение имитационной модели квадрокоптера значительно упростит разработку и отладку алгоритмов управления и его физической моделью, а также понизит риск получения повреждений как самим дроном, так и окружающими людьми (ввиду отсутствия необходимости его запуска).

### **Литература**

1. Ardrone\_autonomy ROS driver [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://github.com/AutonomyLab/ardrone\\_autonomy](https://github.com/AutonomyLab/ardrone_autonomy).
2. Ardrone\_autonomy installation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ardrone-autonomy.readthedocs.io/en/latest/installation.html>.

*Р.В. Данилевич, студ.;*  
*рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Высоковольтные силовые трансформаторы являются наиболее ответственными и дорогостоящими элементами в системе распределения электрической энергии. Надежность электрических сетей во многом определяется надежностью работы высоковольтных силовых трансформаторов.

Одной из главных задач эксплуатации трансформаторов является контроль режима их работы. Этот контроль осуществляется путем проверки нагрузки трансформатора, напряжения на обмотках, температуры масла и других параметров. На подстанциях с постоянным дежурным персоналом контроль осуществляется с периодичностью 1...2 часа с фиксированием параметров режима в суточной ведомости [1].

Целью данной работы является повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов за счет применения автоматизированной системы контроля (АСК) режимов их работы.

Применение АСК трансформаторов значительно повысит надежность электроснабжения потребителей и позволит выбрать наиболее экономичный режим работы оборудования.

Предлагаемая автоматизированная система предназначена для:

- контроля технического состояния трансформаторного оборудования в процессе эксплуатации;
- формирования диагностических, предупреждающих и аварийных сообщений, ведения баз данных;
- передачи информации о техническом состоянии оборудования в автоматизированную систему управления подстанции;

В работе разработаны следующие подсистемы АСК режимов работы силовых трансформаторов:

- определение допустимости систематических перегрузок;
- выявление целесообразности отключения части трансформаторов на подстанциях для уменьшения потерь электроэнергии в электрической сети;
- оценка состояния трансформатора на основе анализа растворенных в масле газов.

### **Литература**

1. **Костин, В.Н.** Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: Учеб. пособие / В.Н. Костин. — СПб: СЗТУ, 2004. — 184 с.

*М.В. Дегтярев, студ.;  
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ТЕКУЩЕЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Задача оценивания состояния электроэнергетической системы (ЭЭС) решается на основе телеизмерений (ТИ). Принято, что ТИ отображают режим ЭЭС на текущий момент. Однако, как правило, объемы ТИ недостаточны для полной наблюдаемости схемы ЭЭС. Проблемы дефицита ТИ при оценивании состояния ЭЭС многократно обсуждались [1, 2].

Целью исследований является дальнейшее развитие метода оценки состояния ЭЭС за счет разработки методики и алгоритма автоматического определения текущей конфигурации ЭЭС.

Применение ЭВМ существенным образом облегчает оценку влияния различных факторов и выбор наиболее простого и экономического пути решения задачи управления. Однако это в свою очередь ведет к необходимости разработки соответствующих методик, алгоритмов и созданию программ для расчета и анализа режимов ЭЭС.

Наиболее важной задачей при использовании ЭВМ является создание модели локального объекта и всей системы. Эта модель должна динамично изменяться, чтобы отображать изменение условий работы оборудования, их характеристик, а также топологию сети.

Идея метода автоматического определения конфигурации сети основана на предварительном определении токов при всех возможных вариантах отключенных и включенных выключателей. Это позволит по значениям реальных токов, протекающих в заданной ветви (линии), определять положение выключателей и, как следствие, конфигурацию сети.

Проведенный анализ показал, что, получив значение тока, можно как минимум сузить круг возможных комбинаций выключателей, а как максимум — сто-процентно ее определить. Это дает возможность уменьшить время поиска и локализации аварийного участка.

### **Литература**

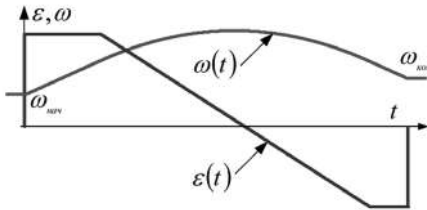
1. **Гамм, А.З.** Наблюдаемость электроэнергетических систем / А.З. Гамм, И.И. Голуб. — М., Наука. — 1990. — 200 с.
2. **Глазунова, А.М.** Методика задания псевдоизмерений для обеспечения наблюдаемости схемы при оценивании состояния ЭЭС. Современные программные средства для расчёта и оценивания состояния режимов электроэнергетических систем / А.М. Глазунова, И.Н. Колосок. — Материалы научно-практического семинара. — Иркутск: ИДУЭС. — 2004 г.

*Н.В.Перминов, студ.;  
рук. П.И. Розкаряка, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк, РФ)*

## РАЗРАБОТКА ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО ТАХОГРАММЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С НЕНУЛЕВЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ И КОНЕЧНЫМИ СКОРОСТЯМИ

При решении задач позиционирования с помощью системы управления электроприводом (ЭП) могут использоваться задающие устройства, которые, как правило, формируют тахограммы с нулевыми начальными условиями [1]. В отдельных случаях возникает необходимость запустить процесс позиционирования уже перемещающегося объекта, т.е. с ненулевой скоростью, а, например, при синхронизации перемещения с другими движущимися объектами — закончить процесс позиционирования с ненулевой конечной скоростью. При одинаковых ненулевых начальных и конечных скоростях тахограмма будет симметричной [2], при разных — несимметричной.

Целью работы является синтез несимметричных диаграмм позиционирования ЭП с ненулевыми начальными и конечными скоростями.



**Рис. 1.** Несимметричная тахограмма

Синтезированы все возможные варианты несимметричных траекторий ускорения, скорости и перемещения, минимизирующих тепловые потери от токов, пропорциональных динамическому моменту двигателя, при наличии ограничений на координаты и при ненулевых начальных и конечных скоростях ЭП.

Также разработан алгоритм выбора тахограммы позиционирования для реализации диаграммы задающим устройством. Синтезированные диаграммы можно применять для механизмов, работающих в повторно-кратковременном режиме, например, роботах манипуляторах.

### Литература

1. **М. Выхков, V. Kuznetsova**, “Optimum and Quasioptimum Control of the Position Electric Drive by Criterion of Electric Losses Minimum”, 2018 25th International Workshop on Electric Drives: Optimization in Control of Electric Drives (IWED), Moscow, Russia. Jan 31 — Feb 02, 2018.
2. **Бондаренко С.И., Розкаряка П.И.** Расчет оптимальных по тепловым потерям диаграмм отработки заданного перемещения с ненулевыми начальными и конечными скоростями движения // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 7-й межд. н-практ. конференции. Т. 2:. — Донецк: ДонНТУ. — 2021. — С. 168–173.

*В.С. Лежнев, студ.;*  
*рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ТЭС**

В связи с развитием компьютерной техники эксплуатационный персонал объектов электроэнергетики все больше внимания уделяет технологиям оперативной диагностики, которые быстро стали развиваться в последние годы. Наибольшее распространение получили разного рода экспертные системы (ЭС), которые интенсивно внедряются на электростанциях.

Опыт применения ЭС показал, что наибольшую эффективность они могут принести при использовании оперативной информации в процессе работы оборудования и когда они интегрированы в автоматизированную систему управления ТЭС. Информационная модель ЭС представляет собой базы фактов, данных и знаний. Источниками информации для базы фактов является система сбора информации от установленных датчиков или результатов испытаний оборудования. Эту информацию можно получить от современных систем сбора информации SCADA-systems. Например, на Зуевской ТЭС установлена система АСУТП фирмы Siemens SPPA-T3000, с помощью которой можно получить всю информацию о работе блока ТЭС.

В данной работе предложено реализовать информационную составляющую для построения ЭС диагностики генераторов ТЭС. В основе ЭС заложена база знаний построенная на основе таблиц решений полученных при помощи деревьев оценки ситуаций для разных типов турбогенераторов. Связи между таблицами решений полученные на основе известных деревьев оценки ситуаций позволяют получить граф подчиненности ситуаций [1]. По этому графу можно отследить стратегию поиска решения в базе знаний. В соответствии с идеями, предложенными в [1] реализуется структура базы знаний, разработанная для диагностики блока ТЭС. Каждой таблице решений отвечают четыре таблицы базы знаний: Действия, Условия, Правила (действия — условия), Пояснения. Для реализации информационной системы используется СУБД типа MS ACCESS. Источником информации для всей системы диагностирования, безусловно, будет выступать «база фактов» — это информация, поступающая от систем сбора SCADA. Также информация будет вводиться вручную на основании визуального контроля по дополнительным параметрам работы оборудования.

### **Литература**

1. **Гришанов С.А.** Экспертная система для диагностирования состояния генераторов блока ТЭС. / Научные труды ДонНТУ. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 1(14). — Донецк: ДонНТУ. — 2013. — С. 83–90.

*К.С. Свистун, студ.; рук. С.В. Деркачёв, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПОДАЧИ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ**

На сегодняшний день синхронные и асинхронные электродвигатели большой единичной мощности получили достаточно широкое распространение в системах электроснабжения промышленных предприятий с непрерывным технологическим процессом. Двигательная нагрузка в системах электроснабжения таких предприятий предъявляет ряд особых требований, связанных с обеспечением надежности электроснабжения и сохранением устойчивой работы узла нагрузки при кратковременных нарушениях нормального режима электроснабжения во внешней сети. На сегодняшний день для повышения надежности электроснабжения промышленных предприятий с непрерывным технологическим процессом нашли широкое применение микропроцессорные устройства быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР) [1, 2]. Использование микропроцессорных устройств БАВР в сочетании с современными быстродействующими выключателями позволяет выполнить подачу питания от резервного источника питания в максимально короткие промежутки времени.

В работе приведены результаты исследований, которые направлены на обеспечение уровня токов и электромагнитных моментов асинхронных и синхронных двигателей в режимах самозапуска вследствие работы устройств БАВР, меньших уровня пусковых значений, которые приняты в качестве допустимых.

На основе математического моделирования были выявлены значения допустимых углов сдвига между остаточным напряжением на секции основного источника питания и напряжением резервного, при которых восстановление напряжения от резервного источника не вызывает превышение допустимых значений токов и моментов.

### **Литература**

1. **Никулов И., Жуков В., Пупин В.** Комплекс БАВР Быстродействие повышает надёжность электроснабжения / *Новости электротехники.* — 2012. — № 4. — С. 2–4.
2. **Жуков В.А., Пупин В.М., Гамазин С.И., Куликов А.И., Цырук С.А.** Быстродействующее устройство АВР с однократным принципом определения нарушения нормального электроснабжения потребителей / *Электрооборудование: Эксплуатация и ремонт.* — 2011. — № 9. — С. 11–18.



*Д.В. Панасенко, студ.; рук. В.А. Павлюков, к.т.н., доц.,  
С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ УЧЕТА СКИН-ЭФФЕКТА В СТЕРЖНЯХ РОТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Для улучшения пусковых характеристик асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) поперечные сечения стержней обмоток их роторов выполняют в форме: прямоугольника, трапеции, колбы, двух клеток или других более сложных фигур [1]. Коэффициенты вытеснения тока для активного  $k_R(s)$  и индуктивного  $k_X(s)$  сопротивлений, как правило, определяют по результатам моделирования магнитных силовых линий электромагнитного поля пазового рассеяния [2]. Зависимости этих коэффициентов от скольжения затем представляются таблично, аналитически или в виде степенных полиномов. Последние приведены в [1], по результатам расчёта по методике [2]. Аналитические зависимости  $k_R(s)$  и  $k_X(s)$  используются для определения параметров эквивалентных схем замещения (ЭСЗ) АД при проектировании и при расчёте их режимов работы, как например в [3].

Проведена статистическая обработка данных форм поперечных сечений стержней КЗР 386 типов высоковольтных АД систем с.н. ТЭС, полученных в [1] из расчётно-конструкторских отделов НИИ и заводов-изготовителей АД. Для имеющих наибольшую применимость колбообразных (44%), прямоугольных (22%) и трапецидальных (20%) форм стержней проведено сопоставление зависимостей  $k_R(s)$  и  $k_X(s)$ , полученных из различных источников [2, 3 и др.]. По методике [3], основанной на безитерационном алгоритме расчёта параметров ЭСЗ АД, разработана Mathcad-программа, позволившая определить степень влияния различия зависимостей  $k_R(s)$  и  $k_X(s)$  на пусковые характеристики АД. Для указанных выше форм пазов получены также зависимости  $k_R(s, V_R)$  и  $k_X(s, V_R)$  от скольжения  $s$  и температуры нагрева  $V_R$ , которые могут быть использованы при разработке устройств релейной защиты от недопустимых перегревов обмоток роторов АД.

### **Литература**

1. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. М.: СПО Союзтехэнерго, Ч. 3, — 1983.
2. **Клюков Б.К.** Расчёт вытеснения тока в стержнях произвольной конфигурации / Электротехника. 1969. — № 9. — С. 25–29.
3. **Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А.** Расчёт параметров схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных машин / Электричество — 1979. — № 10 — С. 35–39.

*С.В.Ковальская, асп.;*  
*рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННЫХ МАШИН ИЗ ОПЫТОВ ОТКЛЮЧЕНИЯ ОТ ИСТОЧНИКА ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Национальный стандарт РФ — ГОСТ 10169-77 и международный — МЭК IEC 60034-4-1:2008 допускают определение частотных характеристик (ЧХ) и электромагнитных параметров (ЭМП) синхронных машин (СМ) из опытов отключения вращающихся с малым скольжением машин от источника трехфазного напряжения.

В [1] установлено, что указанный метод можно рекомендовать для определения ЧХ только при разомкнутой обмотке возбуждения (ОВ). По продольной оси при замкнутой ОВ их следует определять при отключении синхронно вращающейся СМ. Для определения ненасыщенных ЧХ напряжение, подводимое к обмотке статора невозбужденной машины, должно соответствовать линейной части характеристики холостого хода.

ЧХ с учетом насыщения пути основного магнитного потока могут быть рассчитаны по данным опытов отключения от сети возбужденного генератора, работающего без активной нагрузки. Для определения ЧХ, соответствующих заданному уровню насыщения, отличие напряжения на шинах системы и ЭДС генератора не должно превышать 2–3%.

В опытах необходимо регистрировать с дискретностью не более 0,0005 с мгновенные значения напряжения во всех трех фазах  $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$  и ток статора в момент отключения. По данным измерений рассчитывается функция изменения модуля изображающего вектора  $U_s(t)$ , которая в дальнейшем используется при определении ненасыщенных ЭМП. При отключении возбужденного генератора измеряются также напряжения в установившемся режиме ( $U_{s\text{ycm}}$ ). Для расчета насыщенных параметров осуществляется аппроксимация экспоненциальными составляющими переходной функции вида  $\Delta U_s(t) = U_s(t) - U_{s\text{ycm}}$ .

Приводятся результаты испытаний для промышленного турбогенератора типа ТВВ-800-2.

### **Литература**

1. **Ларин А.М.** Обоснование максимально допустимого значения скольжения при экспериментальном определении электромагнитных параметров синхронных машин / А.М. Ларин, С.В. Ковальская // Материалы 8-й международной научно-практической конференции. Инновационные перспективы Донбасса. Т.2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. — Донецк: ДонНТУ. — 2022. — С. 106–115.

*В.С.Радченко, студ.;*  
*рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРСИРОВКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС**

В настоящее время в электроэнергетических системах (ЭЭС) для автоматического предотвращения нарушения динамической устойчивости (АПНУ) широко используется противоаварийная автоматика (ПА) [1] путем воздействия через систему возбуждения генераторов.

Поведение ЭЭС при воздействии на систему возбуждения генератора зависит от условий работы ЭЭС, вида возмущающего воздействия, характеристик системы возбуждения, длительности форсировки возбуждения (ФВ), параметров сети и др. Поэтому, для оценки эффективности применения ФВ в подсистеме АПНУ необходимо в каждом конкретном случае количественный анализ электромеханических переходных процессов.

В настоящей работе разработано программное обеспечение в среде прикладного пакета MathCAD для анализа переходных процессов и формулирования требований к формированию управляющих воздействий для осуществления ФВ, направленных на обеспечение динамической устойчивости ЭЭС.

Выбор вариантов для исследования основывался на необходимости рассмотрения влияния следующих определяющих факторов: активная и реактивная нагрузка генератора в исходном режиме; вид и место короткого замыкания (КЗ); время и угол отключения КЗ; время включения и снятия ФВ; предельные значения тока возбуждения; постоянная времени регулирования.

Разработанный комплекс программ для ПЭВМ позволяет в широких пределах изменения параметров элементов системы и исходного режима осуществлять оценку динамической устойчивости ЭЭС при различных видах КЗ с учетом влияния действия ФВ на синхронных генераторах.

На основании выполненных исследований определяются параметры управляющих воздействий обеспечивающих предотвращение нарушения устойчивости не только в первом, но и в последующих циклах качаний ротора.

### **Литература**

1. **Стандарт СТО 59012820.29.240.001-2011.** Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. — Москва. — 2011. — 30 с.

А.С. Сауткин, студ. ;  
 рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

## АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

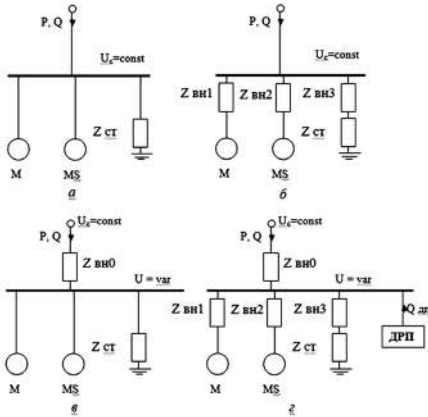


Рис. 1. Расчетные модели УН

Расчеты устойчивости узлов нагрузки (УН) необходимы при проектировании систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий для разработки мероприятий, обеспечивающих непрерывность технологических процессов при различных возмущениях. Поэтому задача обеспечения устойчивости двигательной нагрузки является актуальной.

Целью работы является анализ статической устойчивости промышленных потребителей с различного типа двигательной нагрузкой, а также наличия источников реактивной мощности (ИРМ).

- Устойчивость УН анализируется по схемам замещения всей СЭС и параметрам ее режима, которые приводится к одному из основных видов, показанных на рис. 1. Это позволяет применять практические критерии СУ к оценке критического напряжения на шинах УН. Получено четыре расчетные модели УН, отличающиеся между собой критериями устойчивости:
1. Модель, в которой напряжение в узле нагрузки не зависит от режима работы электроприемников (Рис. 1, а).
  2. Модель, в которой группы потребителей радиально связаны через внешнее сопротивление с шинами узла нагрузки, напряжение на которых является независимой переменной режима (Рис. 1, б).
  3. Модель, в которой группы приемников связаны с узлом нагрузки через внешнее сопротивление, а независимой переменной режима является ЭДС источника питания (Рис. 1, в).
  4. Модель, в которой узел нагрузки содержит все характерные составляющие, а также источник реактивной мощности (Рис. 1, г).

### Литература

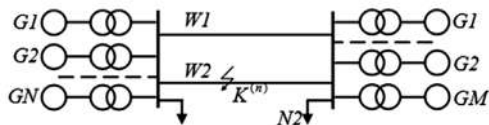
1. Долгов, А.П. Переходные электромеханические процессы электрических систем: уч. пособие / А.П. Долгов. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 236 с. ISBN 978-5-7782-3837-4. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99204.html>.

*Д.Е.Харитонов, студ.;  
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХ СТАНЦИЙ

В настоящее время для задач проектирования, выбора оборудования и оценки эффективности эксплуатации ЭЭС широко применяют специальное программное обеспечение (ПО) [1, 2]. В учебных целях используют специализированные лабораторные стенды. Для исследования электромеханических переходных процессов, имеющих место в аварийных режимах их использование для сложных систем затруднительно.

В настоящей работе разрабатывается ПО, позволяющее для ЭЭС, состоящей из двух электростанций (рис.1), выполнять анализ электромеханических переходных процессов и синхронной динамической устойчивости (СДУ) при различном виде больших возмущениях.



**Рис. 1.** Схема исследуемой ЭЭС

В основу алгоритма программы положен метод «площадей», путем предварительного преобразования сложной системы к простейшей: эквивалентный генератор — шины неизменного напряжения.

Программа разработана в среде прикладного пакета MathCAD и позволяет анализировать возмущения в виде внезапного отключения генераторов или нагрузки, коротких замыканий различных видов в любом месте одной из цепей линии электропередачи с последующим АПВ.

Оценка условий сохранения или нарушения СДУ основана на анализе соотношений избыточных кинетических энергий, приобретаемых ротором эквивалентного генератора в течение всего переходного процесса.

Изменение относительного угла во времени рассчитывается на основе интегрирования дифференциального уравнения движения методом последовательных интервалов. Длительность расчета переходного процесса позволяет анализировать два — три цикла качаний ротора в переходном режиме. При этом предусмотрена возможность варьирования в широком диапазоне времен отключения короткого замыкания, повторного включения линии и последующего ее отключения в случае неуспешного АПВ.

### Литература

1. Программный комплекс для вузов НИУ МЭИЕТАР POWER LAB для учебных заведений. — Режим доступа <http://etapru.com/index.php>.
2. Программный комплекс EnergyCS Режим. — Режим доступа <https://www.energycs.ru/programs/energycs-regim>.

*Д.А. Тонкошкур, студ.;*  
*рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц.,*  
*П.Р. Никифоров, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ НАДЁЖНОГО ПИТАНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ**

Надёжное и качественное функционирование энергоблоков тепловых электростанций (ТЭС) в большой степени зависит от организации и обеспечения качественной работы всех устройств, машин и механизмов системы собственных нужд (с.н.) [1]. Ключевой задачей является организация надёжного питания всех ответственных электропотребителей, получающих питание, как от секций с.н. напряжением 6 или 10 кВ, так и от секций напряжением 0,4 кВ. Особого внимания заслуживают ответственные потребители с.н. 0,4 кВ к которым относятся системы заряда аккумуляторных батарей (АБ), асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором — электроприводы маслонасосов смазки подшипниковых узлов турбоагрегатов (МНС), маслонасосов системы уплотнения (МНУ) турбогенераторов и др.

В данной работе рассмотрена возможность организации надёжного электропитания ответственных потребителей с.н. за счёт использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как, фотоэлектрические или солнечные батареи (СБ). Использование ВИЭ позволит практически не задействовать аварийные установки постоянного тока, получающие питание от АБ, что позволит сэкономить заряд последних для их основного целевого использования — питания оперативных цепей устройств и систем релейной защиты, противоаварийной автоматики, цепей АСУ ТП ТЭС и др.

Используя подход, изложенный в [2], в пакете MathWorks® MATLAB® Simulink® была создана математическая модель сети с.н. 0,4 кВ на примере энергоблока Зуевской ТЭС номинальной мощностью 300 МВт с дополнительным подключением СП суммарной мощностью 3000 кВт. Выполнено математическое моделирование на ПЭВМ процесса перевода питания от ВИЭ ответственных потребителей с.н. 0,4 кВ при исчезновении питания от основного источника — трансформатора с.н. 6/0,4 кВ. Также выполнено математическое моделирование токов короткого замыкания.

### **Литература**

1. **Жуков В.В.** Электрическая часть электростанций с газотурбинными и парогазовыми установками: учебное пособие для вузов / В.В. Жуков. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 519 с.
2. **Sumathi, S., Ashok Kumar, L., Surekha, P.** Retracted chapter: Application of MATLAB/SIMULINK in Solar PV Systems / Green Energy and Technology, Springer, 2015. — 144 p.

*А.С. Медведев, студ.;*  
*рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР) нашли широкое применение в качестве электропривода различных машин и механизмов промышленных предприятий, а также в системе собственных нужд современных тепловых и атомных электростанций [1]. Надёжная работа АД с КЗР может быть повышена за счёт дальнейшего совершенствования алгоритмов релейной защиты и автоматики (РЗА) с использованием микропроцессорной элементной базы.

В данной работе была усовершенствована и реализована в виде устройства-прототипа микропроцессорного терминала РЗА присоединения «кабель-АД» тепловая защита (ТЗ) асинхронной машины. В качестве исходного алгоритма была использована комбинированная ТЗ, описанная в [1], сочетающая в себе как алгоритм, основанный на использовании псевдотепловой модели с использованием тепловой схемы замещения машины, так и алгоритм косвенного определения температуры нагрева обмотки КЗР по данным измерения режимных параметров (фазные токи и напряжения, скольжение). В отличие от [1] с целью повышения точности в данной работе в качестве эквивалентной схемы замещения (ЭСЗ) АД используется одноконтурная ЭСЗ с наличием контура потерь в магнитопроводе статора и учётом скин-эффекта в обмотке КЗР. Для определения параметров ЭСЗ использовался метод, представленный в [2].

Работоспособность алгоритма усовершенствованной ТЗ АД с КЗР опробована на ПЭВМ в пакете РТС® MathCAD®, а также на экспериментальной установке кафедры «Электрические станции» ДонНТУ с использованием цифрового осциллографа для АД типа АИР112М4 номинальной мощностью 5,5 кВт и напряжением статора 0,4 кВ. Температура обмотки КЗР в режиме подачи на статор пониженного напряжения 49 В при заторможенном роторе составила 39,9° С.

### **Литература**

1. **Сивокобыленко, В.Ф., Ткаченко С.Н.** Математическое моделирование комбинированной тепловой защиты глубокогопазного асинхронного двигателя / Электрические станции. 2020. № 2 (2020). — С. 46–53.
2. **Павлюков, В.А., Ткаченко С.Н.** Совершенствование методов идентификации параметров эквивалентных схем замещения глубокогопазных асинхронных двигателей Журнал «Электричество». № 10. — 2018. С. 54–60.

*А.Д.Мых, студ.; рук. И.А. Бершадский, д.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ УДЛИНИТЕЛЯ 220 В ОТ ПЕРЕГРЕВА КОНТАКТОВ**

Международный фонд электробезопасности (ESFI) показывает, что удлинительные шнуры являются распространенной причиной возгораний. Известен способ защиты удлинителя 220 В от токов перегрузки с помощью термобиметалла и от КЗ плавким предохранителем. Однако такой способ не обеспечивает защиту от возгораний, вызванных перегревом плохого электрического контакта по причине искрения или монотонного изменения его переходного сопротивления  $R_{\text{п}}$  при токах, меньших рабочего допустимого  $I_{\text{раб.д}}$ . В патенте США [1] рассмотрен способ обнаружения перегретого контакта на основе контроля уровня и динамики изменения напряжения в конце цепи при коммутации дополнительной постоянной резистивной нагрузки. Однако он не подходит для контроля места повреждения в параллельной розеточной цепи из-за того, что измерительный ток не проходит через место повреждения. Кроме того, пороги по уровню динамики напряжения контроллера учитывают параметры стационарной кабельной линии — ее сечение и длину. При изменении длины кабеля и/или его сечения в удлинителе указанные пороги должны быть изменены.

Одним из принципов обнаружения «горячих» точек является установка термодатчиков для замера температуры нагрева медных пластин разборного соединения удлинителя. Место установки датчика и уставка температуры его срабатывания определяется путем экспериментов и математического моделирования нагрева пластин. Это актуально для отстройки от тока нормального режима при варьировании  $R_{\text{п}} > 18..20$  мОм (определено экспериментально).

Предложено применить два термореле SA2 и SA3 с порогом срабатывания, определяемым  $I_{\text{раб.д}}$ , для контроля фазного и нулевого контакта удлинителя. Установка датчиков выполнена в средней части пластин между двумя розетками, и их количество может увеличиваться пропорционально количеству розеток.

Узел контроля состояния контактов с исполнительным реле K1 и светодиодной индикацией VD1 состоит из схемы «триггера». Сброс защиты производится отключением и повторным включением кнопки SA1. Последнее необходимо для обеспечения «нулевой защиты», т.к. запрещено самовосстановление схемы при нарушении нормальной работы устройства. Предусмотрена индикация всех режимов дополнительной защиты удлинителя.

### **Литература**

1. **J.J. Shea**, US Patent No. 8,854,066 (3 Oct, 2014). Method and apparatus for detecting a glowing contact in a power circuit — Режим доступа <https://patents.google.com/patent/WO2013151626A1/en>. — Загл. с экрана.



*Н.В. Губарева, студ.;*  
*рук. И.В. Булах, к.э.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ПОТЕРЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДНР**

Природный газ является основным источником тепла для большинства жителей ДНР. Помимо внедрения энергосберегающих технологий, необходимо контролировать и снижать потери природного газа во время его транспортировки конечному потребителю.

Производственно-технологические потери в г. Донецке (ДНР), согласно статистике, составляют около 3% от общего протранспортированного объема. Для их минимизации необходима своевременная ревизия газопроводов, запорной арматуры, газораспределительных пунктов; использование современных материалов при строительстве новых газопроводов и капитальном ремонте уже существующих.

Структура потребления газа по категориям потребления в г. Донецке (ДНР): предприятия теплоэнергетики — 61%, юридические лица — 7,3%, население — 25,8%; производственно-технологические потери — 3%, коммерческие потери — 2,9% [1]. Для снижения расхода энергоресурсов и потерь природного газа в ДНР необходимо выполнение ряда мероприятий. Проведение массовой информационной кампании с целью повсеместного внедрения энергосберегающих технологий и рационального использования природных ресурсов. Для промышленных предприятий необходимо учитывать еще на стадии разработки проектной документации внедрение новейших технологий и установку оборудования с повышенным КПД. А также производить модернизацию крупных, энергоемких предприятий. Установка приборов учета для всех потребителей природного газа. Реконструкция систем газоснабжения города с целью замены стальных труб на полиэтиленовые, что позволит снизить производственно-технологические потери практически на четверть. С учетом мировых тенденций и переходом на «зеленую энергетику», природный газ, как топливо наиболее экологичен по сравнению с другими источниками. Соответственно, необходимо наращивать темпы газификации населения, произвести полный переход котельных тепло-энергетического комплекса с твердого топлива на природный газ, модернизировать газовое оборудование на крупных энергоемких предприятиях.

### **Литература**

1. **Губарева Н.В.** Мероприятия по энергосбережению и снижению потерь для газотранспортных и газопоставляющих предприятий / Н.В. Губарева, И.В. Булах // «Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие»: материалы VI Международной научно-практической конференции, г. Донецк, 29 октября 2021 г. — Донецк: ДонНТУ, 2021. — С. 69–74.

*А.А. Чепига, асп.; рук. П.И. Розкаряка, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ**

В последние годы на предприятиях, занимающихся открытой разработкой полезных ископаемых, активно идет процесс внедрения карьерных самосвалов большой грузоподъемности, использующих в качестве трансмиссии электрический привод переменного тока. В сравнении с электроприводом постоянного тока он позволяет повысить надежность самосвала, снизить стоимость жизненного цикла и одного тонно-километра перевозок. Это достигается за счет повышения ресурса работы элементов электромеханической и преобразовательной части привода, расширения скоростного диапазона их эффективного действия, повышения максимальной скорости движения груженого самосвала и эффективности электропривода в целом. Дополнительным эффектом является существенное повышение качества управления самосвалом практически во всех режимах движения, достигаемое за счет повышения быстродействия и точности отработки заданного момента, введения специфических режимов работы, таких как антипроскальзывание колес и удержание самосвала в неподвижном состоянии. На данный момент в этой области имеются единичные технические решения [1].

В работе рассматривается гибридная силовая установка, состоящая из 4-х блоков: блок управления генератора (БУГ); два блока управления двигателем (БУД); блок резервного питания (БРП). БУД управляется по классической структуре векторного управления синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. БУГ работает в режиме неуправляемого синхронного выпрямителя, то есть MOSFET в стойке блока открывается только в момент проводимости диода. Данный вариант коммутации позволяет снизить потери на проводимость. БРП представляет собой классическую схему n-канального двунаправленного DCDC-преобразователя (buck-converter).

### **Литература**

1. **Виноградов А.Б., Гнездов Н.Е., Журавлев С.В., Сибирцев А.Н.** Разработка и исследование комплекта тягового электрооборудования карьерного самосвала грузоподъемностью 240 тонн // Труды VIII Междунар. (XIX Всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2 т. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. — С. 261–263.

## СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ I — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА .....	5
Секция 1. Теоретические основы радиотехники .....	6
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов .....	26
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов .....	41
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн .....	54
Секция 5. Радиолокация и телевидение .....	68
Секция 6. Квантовая электроника .....	75
Секция 7. Радиосистемы навигации и связи .....	92
Секция 8. Фотоника .....	113
Секция 9. Промышленная электроника .....	127
Секция 10. Электроника и нанoeлектроника .....	161
Секция 11. Биомедицинская электроника .....	176
НАПРАВЛЕНИЕ II — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	193
Секция 12. Математическое моделирование .....	194
Секция 13. Прикладная математика .....	202
Секция 14. Вычислительная техника и САПР .....	232
Секция 15. Вычислительные машины, сети и системы .....	247
Секция 16. Управление и интеллектуальные технологии .....	268
Секция 17. Вычислительно-измерительные системы .....	286
Секция 18. Неразрушающий контроль и диагностика .....	296
НАПРАВЛЕНИЕ III — БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	308
Секция 19. Информационная безопасность .....	309
Секция 20. Прикладная и бизнес-информатика .....	350
НАПРАВЛЕНИЕ IV — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ .....	357
Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии .....	358
Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов .....	378

Секция 23. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы . . . . .	389
Секция 24. Электрические и электронные аппараты . . . . .	401
Секция 25. Электропривод и автоматика . . . . .	435
Секция 26. Промышленные электротермические установки . . . . .	452
Секция 27. Электрический транспорт . . . . .	465
 НАПРАВЛЕНИЕ V — ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ . . . . .	 471
Секция 28. Техносферная безопасность . . . . .	472
 НАПРАВЛЕНИЕ VI — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ . . . . .	 512
Секция 29. Общие вопросы экономики . . . . .	513
Секция 30. Экономика промышленности . . . . .	533
Секция 31. Менеджмент . . . . .	558
 НАПРАВЛЕНИЕ VII — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ . . . . .	 589
Секция 32. Промышленная электроэнергетика . . . . .	590
Секция 33. Энергетика теплотехнологии . . . . .	601
Секция 34. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики . . . . .	625
Секция 35. Энергосбережение и промышленная экология . . . . .	635
Секция 36. Промышленные теплоэнергетические системы . . . . .	649
Секция 37. Электрохимическая и водородная энергетика . . . . .	672
Секция 38. Экономика энергетики . . . . .	688
 НАПРАВЛЕНИЕ VIII — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА . . . . .	 709
Секция 39. Атомные электрические станции и установки . . . . .	710
Секция 40. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии . . . . .	753
Секция 41. Теплофизика . . . . .	769
Секция 42. Техника и физика низких температур . . . . .	821
Секция 43. Нанотехнологии . . . . .	838
 НАПРАВЛЕНИЕ IX — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА . . . . .	 855
Секция 44. Котельные установки и охрана окружающей среды . . . . .	856
Секция 45. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС . . . . .	870

Секция 46. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций. . . . .	898
Секция 47. Контроль, автоматизация и управление в энергетике. . . . .	919
Секция 48. Теплотехника и малая распределенная энергетика . . . . .	937
НАПРАВЛЕНИЕ X — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ . . . . .	969
Секция 49. Энергетические установки и двигатели. . . . .	970
Секция 50. Проблемы технологии, надежности и конструирования . . . . .	988
Секция 51. Робототехнические и мехатронные системы . . . . .	1009
НАПРАВЛЕНИЕ XI — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА . . . . .	1020
Секция 52. Электроэнергетические системы. . . . .	1021
Секция 53. Электроснабжение . . . . .	1033
Секция 54. История энергетики . . . . .	1043
Секция 55. Электрические станции . . . . .	1064
Секция 56. Секция имени профессора Б.К. Максимова «Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов» . . . . .	1092
Секция 57. Теоретические основы электротехники . . . . .	1125
НАПРАВЛЕНИЕ XII — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ . . . . .	1130
Секция 58. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии . . . . .	1131
НАПРАВЛЕНИЕ XIII — СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ . . . . .	1157
Секция 59. Промышленный и медиа дизайн . . . . .	1158
Секция 60. Электроэнергетика в военном деле. . . . .	1170
Секция 61. Техническое творчество студентов среднего профессионального образования. . . . .	1177
Секция 62. Электроэнергетика Средней Азии . . . . .	1181
Секция 63. Специальные вопросы электроэнергетики Донбасса. . . . .	1208





*Научное издание*

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать девятая Международная научно-техническая  
конференция студентов и аспирантов**

**Тезисы докладов**

Подписано в печать 02.03.2023 г. Формат 60 x 90/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 77,5.

Тираж 80 экз. Заказ № 80-02/23.

Оригинал-макет и полиграфические работы –  
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».

Тел.: (495) 252-7510.

<http://www.raduga-print.ru>

<http://www.radugaprint.ru>