

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
МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ РНК СИГРЭ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТЬ ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

17–19 марта 2022 г.

МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



МОСКВА

НИУ «МЭИ»

2022

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА:
P 154 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.

ISBN 978-5-907292-54-3

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 978-5-907292-54-3



9 785907 292543 >

© Авторы, 2022

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2022

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»
С.В. Захаров, 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»
С.В. Захаров, 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

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

ИНТЕГРАЦИЯ АНАЛИЗАТОРА AQUA TROLL AT600 В СИСТЕМУ ТИББО ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В связи с ухудшением экологической ситуации качества воды появилась потребность в ее мониторинге и тщательном анализе. Эту задачу решает многопараметрический анализатор качества воды AT600 (рис. 1) [1]. Наличие полусотни датчиков позволяет проводить измерение различных физико-химических параметров воды. Благодаря универсальному модулю анализатор легко интегрируется и взаимодействует с пользователем через мобильное приложение. Однако производитель сообщает о своем устройстве мало метрологической информации. В связи с чем появились задачи определения точности в различных условиях и интеграции в систему сбора данных интернета вещей.

Настоящая работа посвящена построению модели погрешности измерений и оценке надежности поступления данных с анализатора Aqua TROLL 600. Подключение анализатора к платформе интернета вещей Тиббо позволит более эффективно собирать и обрабатывать данные с AT600, а также строить статистические модели, позволяющие выявлять систематические погрешности, обусловленные различными факторами, такими как: изменение температуры, давления, глубины погружения в скважину и в воду. А также проверить надежность радиоканала при различных рабочих условиях, таких как, в погруженном состоянии и в различных типах скважин.

В ходе работы создано программное обеспечение, позволяющее интегрировать AT600 в систему Тиббо. В перспективе создания сети анализаторов позволяет проводить экомониторинг подземных водяных слоев и определять их направление движения.

Благодарности

Выражаем благодарность ПАО «МегаФон» за представленный прибор для проведения исследований.

Литература

1. In-Situ [Электронный ресурс]. — URL: <https://in-situ.com/en/> (дата обращения 13.10.2021).



Рис. 1. Комплекс для анализа качества воды на Aqua TROLL 600

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

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗАТОРАМИ КСВН СЕРИИ P2-XX ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

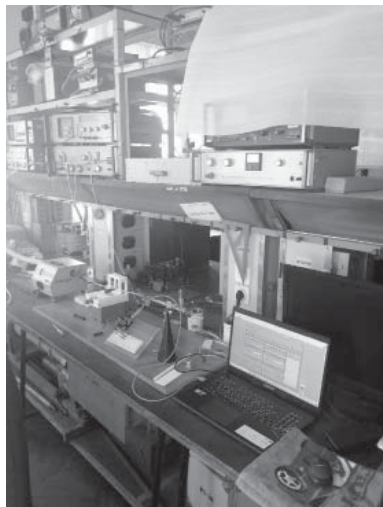


Рис. 1. Система дистанционного управления измерительным комплексом

Существующая ситуация с измерительными приборами СВЧ диапазона от 50 ГГц и выше заставляет модернизировать приборы серии P2-XX. В задачу входит дублирование элементов управления и фиксация результатов на ПК по Web или USB интерфейсу.

Блок управления анализатором КСВН базируется на контроллере TМega328, который позволяет считывать два аналоговых канала с индикатора Я2Р-67[1], управлять запуском и перестройкой по частоте ГКЧ P2-65. Управление осуществляется через LAN и USB интерфейсы программой на ПК, которая разработана на базе знаний алгоритмов работы [2] и методах их не худшей реализации [3]. Разработанный модуль применяется в измерительной системе «Измеритель параметров резонаторов», которая позволяет находить параметры диэлектрических резонаторов, опираясь на методику [4].

В результате работы была подготовлена документация о внедренных в установку модулях и разработано программное обеспечение, расширяющее возможности установки.

Литература

1. Индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — М.: 1990. — 74.
2. **Добромыслов С.В.** Вычислительная программа для расчета характеристик открытых дисковых диэлектрических резонаторов с азимутальными колебаниями. М.: МЭИ, 1991.
3. **Крутских, В.В.** Моделирование в labview: учебное пособие для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 177.
4. **Взятыхшев В.Ф., Ильченко М.Е.** Диэлектрические резонаторы. М.: Радио и связь, 1989.

П.О. Редин, студ.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ УСТРОЙСТВА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ВЕГА NB-13 В СИСТЕМЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

На сегодняшний момент времени системы интернета вещей являются глобальной частью инфраструктуры современного информационного общества, обеспечивающего возможность предоставления услуг на основе развивающихся функционально совместимых информационно-коммуникационных технологий. Важными узлами таких систем являются устройства сбора и передачи данных, параметры которых требуют зачастую экспериментальной проверки, а также поиска для их улучшения и модернизации устройства в целом

В ходе работы проведено исследование возможностей и устройства данного класса, на примере Vega NB-13. В связи с тем, что данное устройство оснащено интерфейсами RS-232/RS-485 и 1-Wire, с последующим накоплением и передачей этой информации в сеть GSM по технологии NB-IoT, была проведена оценка ряда требований таких как совместимость с различными типами сетей, ограниченность по покрытию, оценка режимов по нагрузочным характеристикам устройства, надежность потока данных изделия при различных типах подключения.

В результате работы были получены характеристики устройства необходимые для оценки приемо-передающего узла, а также составлены рекомендации для повышения пользовательской привлекательности устройств «Вега» для оператора мобильной связи.

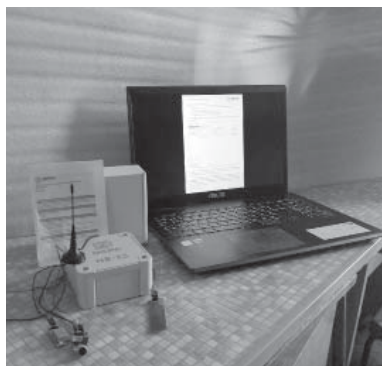


Рис. 1. Система сбора данных интернета вещей на базе ВЕГА NB-13

Благодарности

Выражаем благодарность ПАО «МегаФон» за представленный прибор для проведения исследований.

Литература

1. **Авдеев А.С., Герасимова А.И.** Основные проблемы программирования систем умного дома // М.: Перспективы науки. — 2014. — 245 с.
2. **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.

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

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Цифровая обработка изображений — это быстроразвивающееся направление не только в радиотехнике, но и во многих других промышленных областях [1]. В частности, для задач машинного зрения, где важно в режиме реального времени распознать объект и отнести его к тому или иному классу. Одним из эффективных и актуальных алгоритмов распознавания является алгоритмы на основе сверточных нейронных сетей.

Сверточные нейронные сети — это разновидность моделей глубокого обучения [2], где основной операцией является свертка:

$$g(m, n) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{K-1} f(m-k, n-l)h(k, l) \quad (1)$$

где $h(k, l)$ — ядро свертки, $f(m, n)$ — двумерное изображение, $L \times K$ — размер ядра, $m = 0, \dots, M-1$, $n = 0, \dots, N-1$, $M \times N$ — размер изображения.

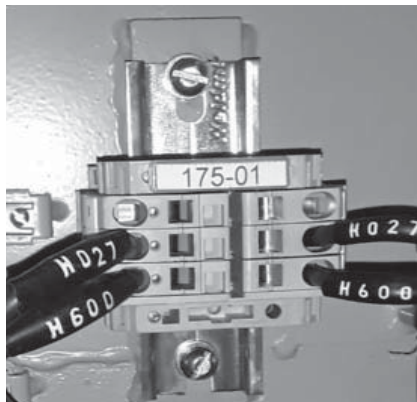


Рис. 1. Образец изображения из базы данных

В докладе излагаются основные принципы построения алгоритма обработки промышленных изображений. В частности, обрабатывается база данных изображений коммутаторов, где необходимо распознать подключенные клеммы и свободные разъемы (рис. 1). А также установить правильность подключения по соответствующим текстовым маркерам.

Подробно излагается слоистая архитектура нейронной сети: сверточные слои, функции активации, слои подвыборки. Результаты работы различных слоев представлены в виде обработанного изображения.

Литература

1. С.Р. Госалес, Р.Е. Вудс. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2012. — 1104 с.
2. Ф. Шолле. Глубокое обучение на Python. — СПб.: Питер, 2021. — 400 с.

А.А. Деев, асп; А.А. Кальщиков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБ ВЫСОКОТОЧНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТАКОВЫХ И СИНХРОСИГНАЛОВ ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ

Для увеличения степени интеграции и повышения унификации разрабатываемых приемопередающих модулей активно используется сеть Ethernet. По волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) возможна одновременная передача тактового сигнала (например, 156.25 МГц), проведение синхронизации двух-путевым методом [1], позволяющая достичь субнаносекундной точности. Эта линия также используется для обмена сигнальными данными.

Исследуется способ генерации тактовых сигналов и синхросигналов [2], которые могут быть использованы для начала генерации сигнала на ЦАП или захвата данных на АЦП.

На рис. 1 представлена блок-схема приемо-передающего модуля. Из линии ВОЛС в модуле clock data recovery (CDR) осуществляется восстановление тактового сигнала. Восстановленный тактовый сигнал (rcvr_clk) подается на ФАПЧ для снижения фазовых шумов и генерации рабочей сетки частот. Для каждого ЦАП и АЦП может генерироваться отдельный тактовый сигнал. Модуль синхронизации осуществляет синхронизацию времени, генерацию синхроимпульсов для каждого тактового домена, а также синхронный захват и выдачу данных с АЦП и на ЦАП соответственно.

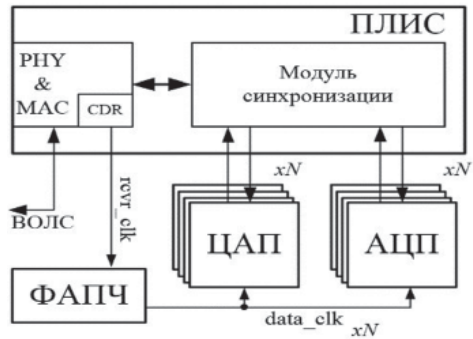


Рис. 1. Блок-схема приемо-передающего модуля

Предложенная схема позволяет синхронизировать неограниченное число приемо-передающих модулей, используя всего один кабель ВОЛС как для задач синхронизации, так для обмена данными и управления.

Разработанный метод генерации синхросигналов может применяться в области экспериментальных научных исследований, радарной техники, системах мониторинга сложных систем и т.д.

Литература

1. **IEEE std 1588-2008** // IEEE Standard for a Precision Clock Sync. Protocol for Networked Measurement and Control Systems, NY, USA, 2008.
2. **T. Wlostowski** // “Precise time and frequency transfer in a White Rabbit network,” Master’s thesis, Warsaw University of Technology, may 2011.

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

ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Газотурбинный двигатель (ГТД) — это сложная техническая система со множеством разнообразных источников колебаний. Одним из таких источников являются сигналы от подшипниковых опор. Зачастую, именно подшипниковые опоры ограничивают ресурс ГТД [1]. В связи с этим, стоит актуальная задача в разработке новых методов диагностики подшипников.

Сегодня активно развиваются методы машинного обучения (МО). С помощью МО решаются разнообразные задачи диагностики технических систем: классификации, регрессии и многие другие.

В докладе излагаются результаты обработки сигналов подшипниковых опор, как в исправном состоянии, так с разнообразными дефектами (рис. 1).

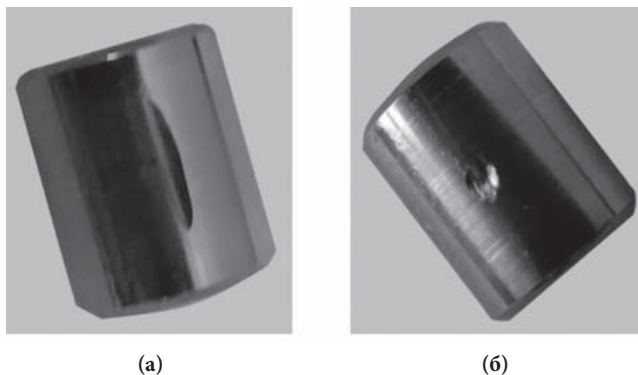


Рис. 1. Тела качения подшипников с повреждениями:
(а) средняя риска, (б) точка большая и маленькая

Решается задача бинарной классификации, т.е. определение по заданным параметрам функционирования объекта является ли он исправным [2]. Применяется метод опорных векторов, деревья решений, градиентный бустинг и др.

Литература

1. **Н. Nanachi** Turbine Engine Performance Estimation and Prediction // Thesis, 2015/
2. **В.Н. Клячкин, Ю.Е. Кувайскова, Д.А. Жуков.** Выбор метода бинарной классификации при технической диагностике с применением машинного обучения. — Самара: Известие Самарского научного центра Российской академии наук, т. 20, № 4(4), 2018 с. 494–497.

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

СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СРЕД ПРОЕКТИРОВАНИЯ SIMULINK, LABVIEW И SYSTEMVUE НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ РЛС

Моделирование является неотъемлемой процессом разработки любого сложной системы. Именно на этой стадии система приобретает свой окончательный облик. Поэтому моделирование является важнейшим этапом проектирование любой системы.

От выбора среды моделирования зависит не только потраченное время работы, но и качество самой модели. Поэтому разработчику важно знать преимущество и недостатки средств моделирования.

На сегодняшний день активно развивается модельно-ориентированный подход (МОП) [1], суть которого объединить аппаратное и программное обеспечение на всех циклах разработки системы за счет системных моделей. К наиболее популярным средствам МОП относятся Simulink, LabView, SystemVue.

В докладе излагается результаты моделирования РЛС тремя вышеизложенными средами. Модель РЛС построена по канонической схеме [2] рис. 1, в которой присутствует приемо-передающий тракт, среда распространения, цель, а также блок обработки сигнала.

Осуществляется сопоставление работы Simulink, LabView, SystemVue по обнаружению сигнала и работы приемо-передающего тракта. Указываются их преимущества и недостатки.



Рис. 1. Схема модели РЛС

Литература

1. **Электронный ресурс:** <https://exponenta.ru/mbd>
2. **R.B. Mahafza, A.Z. Elsherbeni** MATLAB simulations for radar systems design / Bassem R. Mahafza, Atef Z. Elsherbeni. 2004. 686 pp.

А.Э. Мирзоян, асп.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ НЕРЕГУЛЯРНОСТЕЙ В ПОЛУЭКРАНИРОВАННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

С использованием полуэкранированных диэлектрических волноводов (ПЭДВ) возникает вопрос изучения нерегулярностей, а именно, изгибы и стыки. Такие виды нерегулярностей вносят свои дефекты в систему, которые нежелательны и практически неизбежны.

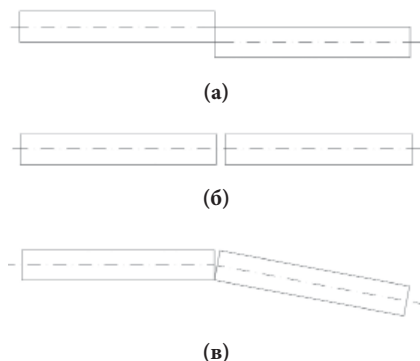


Рис. 1. Виды нерегулярностей в ПЭДВ — (а) — сдвиг, (б) — зазор, (в) — излом

с разными расстояниями. Проведя анализ полученных результатов моделей были выбраны некоторые из них на основе которых были созданы физические модели.

Изучение данного вида неоднородностей важно для конструирования ПЭДВ устройств и систем на их базе.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния таких неоднородностей в системе ПЭДВ. Выявлены закономерности, связывающие расстояние таких неоднородностей и их расположений с параметрами матрицы рассеяния устройства.

Исследования данной конструкции проводились экспериментами численного и физического моделирования. Методами численного моделирования были проанализированы технические решения этих типов нерегулярностей

Литература

1. **Взятышев В.Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Радио и связь, 1970.
2. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М.: ЗАО «НПП»РОДНИК», 2009.

А.А. Бутин, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МУЛЬТИЗОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Данная работа посвящена рассмотрению мультizonной системы мониторинга климатических параметров, а также макетному проектированию данной системы и ее программной реализации.

Основу системы составляет плата Arduino UNO и Arduino-совместимая плата WeMos D1 R1, выполняющие сбор и отправку данных в сеть. Периферией системы являются модульные датчики DHT11, DHT22 и BMP180, подключаемые непосредственно к микроконтроллерам.

В работе рассмотрены несколько вариантов передачи данных в сеть: передача данных внутри локальной сети, передача данных на бесплатный Интернет-хостинг, передача данных в собственную базу данных.

При передаче данных внутри локальной сети и на Интернет-хостинг использовалась плата расширения для Arduino — Ethernet Shield. Данная плата дает возможность обмена данными между платой Arduino и Wi-Fi роутером через Ethernet кабель.

Для отправления данных в базу данных использовалась плата WeMos D1 R1, т.к. возможности этой платы (а именно простота работы с Wi-Fi сетями) позволяют с помощью уже готовых программных средств осуществить беспроводную передачу данных.

Главным достоинством всех трех систем является то, что мониторинг параметров каждой системы может производиться как с ПК, так и со смартфона. Кроме того, при использовании Интернет-хостинга или базы данных, мониторинг параметров может производиться в любой точке Земли с доступом в Интернет.

Доступность всех используемых компонентов позволяет сделать дополнительные модификации, которые позволят увеличить количество параметров мониторинга или обеспечить объединение нескольких систем в единую с бóльшим охватом территории.

Спроектированная система была собрана на макетной плате и безошибочно функционировала.

Литература

1. **Росляков А.В.** Р75 Интернет вещей: учебное пособие / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. — Самара: ПГУТИ, 2015. — 200 с. // стр. 5, 7–8, 13–14.
2. **Петин В.А.** Проекты с использованием контроллера Arduino. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 400 с. // стр. 170–173, 178–193.

Э.И. Трунов соиск.; рук. В.Г. Карташев д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДИФИКАЦИЯ SAFT АЛГОРИТМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Несмотря на существование мощнейших вычислительных устройств, до сих пор существует необходимость повышения информативности ультразвуковых методов дефектоскопии. Заключение о состоянии исследуемого объекта дает не компьютер, и не дефектоскоп, а оператор. Поэтому важность увеличения точности результатов исследования и их наглядное представление должно быть направлено на получение единственного верного вывода о состоянии материала [1]. Наиболее простой алгоритм, позволяющий построить изображение при минимальном количестве математических операций, использует только один излучающий преобразователь, входящий в состав антенной решетки — SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) алгоритм [2].

Целью работы является разработка мультипликативного (нелинейного) алгоритма обработки эхо-сигналов, позволяющий получить максимальную разрешающую способность при построении изображения внутренней структуры материала без увеличения вычислительных нагрузок. В качестве зондирующего импульса нужно использовать максимально короткий видеоимпульс: минимальную длительность при фиксированной ширине спектра имеет гауссов импульс [3].

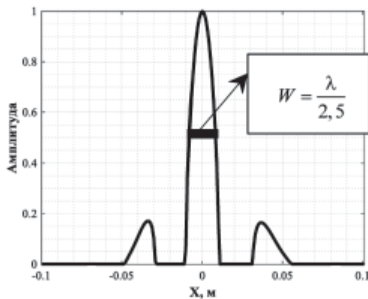


Рис. 1. Определение ширины W

Главным критерием оценки разрешающей способности является ширина неоднородности внутри материала. Для проверки работоспособности метода было произведено математическое моделирование. Для расчета ширины пятна W точечного отражателя с использованием нелинейного алгоритма. На рис. 1 приведены результаты моделирования. При реконструкции изображения с помощью предложенного алгоритма, W получилась практически на 20% уже, чем при обработке методом SAFT.

Литература

1. **Зыков, С.В.** 3D-визуализация в ультразвуковой дефектоскопии // Вестник науки Сибири. — 2012. — № 4 (5).
2. **Амитей, Н.** Теория и анализ фазированных антенных решеток: монография // Москва: Мир. — 1974. — 453 с.
3. **Харкевич, А.А.** Спектры и анализ: монография / Москва: URSS. — 2009. — 236 с.

К.Е. Липшиц, студ.; рук. А.А. Меркулов, асс.;
рук. А.С. Швецов, к.т.н., ст. преп.;
рук. С.А. Жгун, к.т.н., с.н.с., зав. НИЛ (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ДЕФОРМАЦИИ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ ПАВ-РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ ПАССИВНЫХ ДАТЧИКОВ

Датчики деформации на основе резонаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) дают возможность беспроводного измерения деформации подвижных объектов с температурой свыше 200°C [1].

Для выбора резонаторов, сохранивших рабочую характеристику после извлечения из корпусов, с помощью зондовой головки под микроскопом (Рис. 1, а) было проведено предварительное измерение их характеристик (Рис. 1, б). Аналогичная проверка резонаторов проводилась после их наклейки, монтажа переходной платы и соединения ее контактов с контактными площадками резонатора.

Для измерения чувствительности резонансной частоты ПАВ-резонатора к деформации использовалась закрепленная с одной стороны консоль, на другом конце которой крепился груз. Измерения заключались в определении изменения резонансной частоты с помощью анализатора цепей (Рис. 1, в) и измерении деформации тензометром при различном весе груза. У испытанных резонаторов из кварца с резонансной частотой около 224 МГц абсолютное значение ее чувствительности к деформации составило 205...230 Гц/10⁻⁶. Полученные значения могут использоваться для градуировки экспериментальных образцов датчиков деформации.

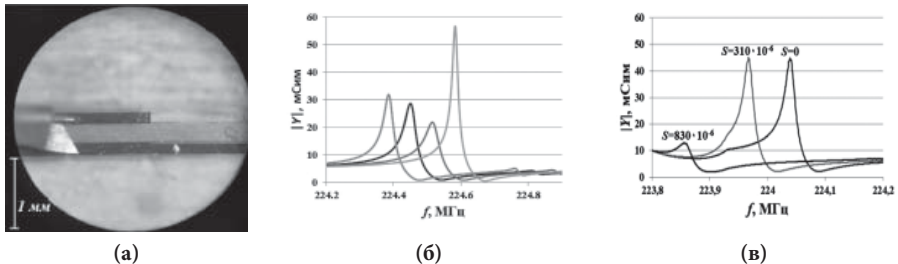


Рис. 1. Фотография ПАВ-резонатора и контактов зондовой головки (а); характеристики, измеренные посредством зонда (б); изменение характеристики при деформации S (в)

Работа выполнена в рамках проекта «Беспроводные пассивные датчики быстропеременной деформации» 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 2020–2022 гг.

Литература

1. Меркулов А.А., Белянкин Н.А., Швецов А.С. Беспроводные пассивные датчики быстропеременной деформации // Технологии будущего: Сб. тез. докл. IV нац. научно-техн. конф. М.: Изд. ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021.

*Н.О. Игнатьев, К.Е. Липшиц, А.Р. Юсупов студ-ы;
рук-и: А.С. Швецов, к.т.н., ст. преп.; А.А. Меркулов, асс.;
С.А. Жгун, к.т.н., зав. НИЛ (НИУ «МЭИ»)*

ОПРОС БЕСПРОВОДНОГО ПАССИВНОГО ДАТЧИКА НА ПАВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО ПРИЁМНОГО-ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Программируемое приёмно-передающее устройство (ПППУ) позволяет одним устройством с удобной настройкой параметров как формировать опрашивающий сигнал, так и принимать отклик беспроводных пассивных датчиков на основе резонаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ), обладающих определенными преимуществами [1].

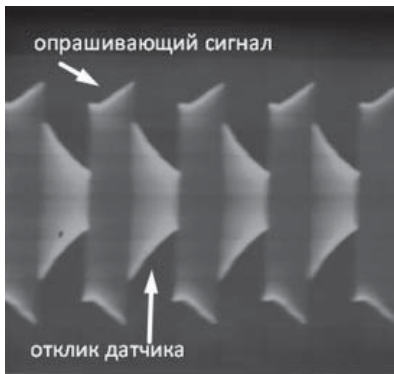


Рис. 1. Оциллограмма опрашивающего сигнала и отклика датчика

Были изучены основные характеристики и стоимость доступных для приобретения ПППУ. Из них как наиболее подходящее на данном этапе выбрано HackRF One. Для опроса датчика разработана программа в среде GNU Radio [2]. Опрашивающий сигнал представляет собой радиоп импульсы с частотой следования 50 кГц и несущей частотой 224,43 МГц (близкой к резонансной частоте резонатора на ПАВ). При подключении ПППУ к передающей антенне и осциллографа к приемной на нем наблюдался опрашивающий сигнал, а при размещении вблизи антенн датчика также и его отклик. В последнем случае из-за взаимодействия с датчиком

наблюдается искажение опрашивающего сигнала на приемной антенне (рис. 1).

В результате работы выбрано ПППУ, разработана программа для опроса датчика, экспериментально проверена работоспособность системы.

Авторы выражают благодарность А.А. Комарову (НИУ «МЭИ») за предоставление ПППУ HackRF One на начальных этапах исследования.

Работа выполнена в рамках проекта «Беспроводные пассивные датчики быстропеременной деформации» 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 2020–2022 гг.

Литература

1. Меркулов А.А., Белянкин Н.А., Швецов А.С. Беспроводные пассивные датчики быстропеременной деформации // Технологии будущего: Сб. тез. докл. IV нац. научно-техн. конф. М.: Изд. ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ», 2021.
2. <https://www.gnuradio.org/>

*Б. Зандан, асп.; рук-ли А.Г. Ченский, к.т.н., доц.
(ИРНИТУ, Иркутск); О. Бухцоож, к.т.н., с.н.с.;
Т. Галбаатар, д.ф.-м.н. в.н.с. (Институт физики технологии
Академии наук Монголии, Улан-Батор)*

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА СПИКЕРА

В речевом сигнале возможно не только распознавать слово речи, но и можно выделить эмоции, возраст и пол спикера. Для улучшения человеко-машинного взаимодействия и/или обработки естественного языка важно выделить пол говорящего из его речи [1]. В этом исследовании провели выделение пола спикера из речи, произнесенной на монгольском языке.

Процесс автоматического распознавания речи состоит из предварительной обработки, выделения признаков и классификации [2]. Для выделения признаков в качестве информативных параметров речи служат энергия речевого сигнала, частоты основных тонов, частоты-форманты и мел-частотные спектральные коэффициенты. Для обучения нейронной сети мы использовали алгоритм Левенберга-Марквардта, который хорошо работает [3] при малоразмерной базе данных, что хорошо подходит под наши задачи. В обучении использовали 1440 аудио файлов, 720 из них содержат аудио записи мужской речи, а 720 — женской речи. Нейронная сеть в эксперименте была обучена с 50, 100, 150 скрытыми слоями. И результат обучения приведен в табл. 1.

Результат обучения нейронной сети для распознавания пола говорящего

| Количество скрытых слоев | Точность распознавания |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 50 | 86,4% |
| 100 | 93,1% |
| 150 | 98,8% |

Из результата эксперимента видно, что нейронная сеть различает пол спикера и точность распознавания возрастает до 98,8% при 150 скрытых слоях.

Литература

1. **Pir, Mohd Yasin & Wani, Mohamad.** A Hybrid Approach to Gender Classification using Speech Signal. 2019. International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology. 17–24. 10.32628/IJSRSET196110.
2. **Zandan. B., Odsuren. B., Alexandr G.C., Tuvdendorj G.,** “Speech Recognition in Mongolian Language using a Neural Network with pre-processing Technique”, 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Power Engineering Institute (MPEI), Moscow, 2020.
3. **Hao Yu and B.M. Wilamowski,** “Levenberg-Marquardt Training Industrial Electronics Handbook” in Intelligent Systems, CRC Press, vol. 5, pp. 12-1-12-15, 2011.

И.С. Шестерикова, студ.; рук. Е.А. Барабанова д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ФОТОННОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

Фотонные системы коммутации — одно из актуальных направлений систем связи [1]. В их основе лежат оптические переключатели, быстродействие которых зависит от времени переходных процессов, возникающих при переключении сигналов с одного выхода на другой. Для расчета переходного процесса в фотонном переключателе для начала необходимо разработать его эквивалентную электрическую схему. В работе рассматривается электрооптический переключатель (рис. 1), работающий на принципе отражения оптического сигнала [2]. Так, при воздействии сигнала с напряжением U_1 (U_2, U_3, U_4), соответствующего длине волны λ_1 ($\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$), информационный сигнал можно передать на один из четырех выходов. Преобразование управляющего оптического сигнала в электрический происходит в оптической антенне — ректенне, состоящей из нанополоски и выпрямительного диода. Эквивалентная схема фотонного переключателя представлена на рисунке 2, где $R_{уп}$, $C_{уп}$, R_y , C_k , R_p , C_p — сопротивления и емкости управляющего слоя, подложки и ректенны соответственно, а R_p , C_p — сопротивление и индуктивность проводов.

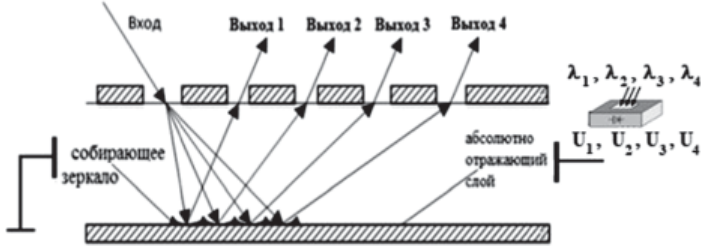


Рис. 1. Эквивалентная схема фотонного переключателя

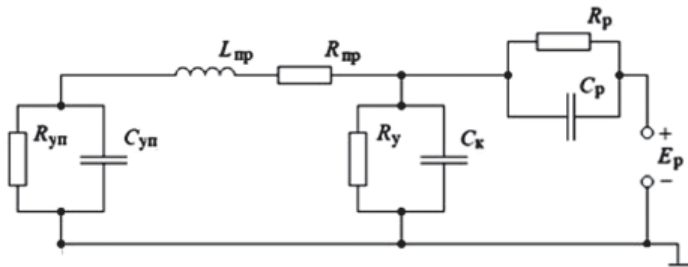


Рис. 2. Эквивалентная схема фотонного переключателя

По этой эквивалентной схеме можно рассчитать время переходного процесса.

Литература

1. Francesco Testa, Lorenzo Pavesi. Optical Switching in Next Generation Data Centers // Springer International Publishing AG. — 2018. — 336 p.

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

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

ВИБРОУСТОЙЧИВЫЙ ГЕНЕРАТОР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Современные высокочувствительные радиолокационные системы диктуют жёсткие требования к применяемым в их составе источникам опорных сигналов не только в части высокой долговременной стабильности частоты и низкого уровня спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемых сигналов, но и обеспечения данных характеристик при воздействии внешних механических и климатических факторов, что особенно актуально в авионике, где на всю аппаратуру непрерывно воздействуют широкополосные случайные вибрации, механические удары многократного действия, резкие изменения температуры окружающей среды при динамичных изменениях высоты во время маневрировании.

В работе рассмотрен термостабилизированный виброустойчивый сверхмалошумящий генератор СВЧ диапазона с резонатором на поверхностных акустических волнах (ПАВ), предназначенный для работы в жёстких условиях эксплуатации, отличающийся от ближайших возможных отечественных и зарубежных аналогов малым временем выхода на режим (менее 180 секунд при температуре окружающей среды минус 60°C), стойкостью к воздействию внешних случайных вибраций (со среднеквадратичным значением (СКЗ) ускорения вплоть до 3,3g в диапазоне частот 100...2000 Гц) и низким уровнем спектральной плотности мощности частотных флуктуаций формируемого сигнала (до -139 дБн/Гц и до -172 дБн/Гц при отстройках от несущей частоты 1 кГц и 1 МГц соответственно на частоте 900 МГц) при этом имеющий относительно высокую температурную стабильность частоты (не хуже $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ отн. ед.) [1].

В результате исследования авторами были получены математическая и компьютерная модели, позволяющие оценить влияние различных компонентов схемы и режимов работы активных элементов на спектральную плотность мощности частотных флуктуаций (-145 дБн/Гц и -175 дБн/Гц на отстройках 1 кГц и 100 кГц, соответственно). В перспективе разработка позволит отказаться от подвижных частей при сохранении виброустойчивости.

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.

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

УПРАВЛЯЕМАЯ НЕЙРОМОРФНАЯ ДИНАМИКА СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

В настоящее время существует множество вариантов реализации искусственных нейроморфных систем (ИНС) на различных физических принципах, например, полупроводниковые, оптические, магнитные [1]. Эти системы обладают такими преимуществами, как быстродействие, низкое энергопотребление, компактность. Но также к аппаратной реализации ИНС предъявляют требования по высокой стабильности. Фазовые системы являются привлекательными для построения ИНС, т.к. они обеспечивают требуемую стабильность и широкий диапазон синхронизации.

В данной работе исследована нейроморфная динамика бесфильтровой системы фазовой синхронизации (СФС) с фазовой модуляцией опорного генератора. При моделировании были получены осциллограммы напряжения на выходе цепи управления бесфильтровой единичной СФС, которые демонстрируют односпайковую (рис. 1а) и берстовую (рис. 1б) активность системы.

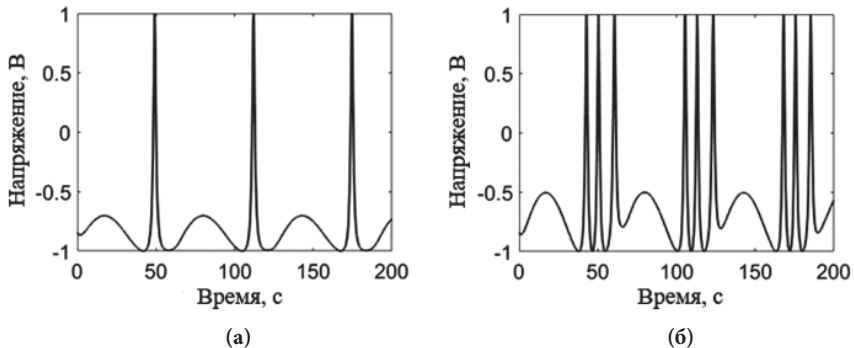


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на выходе цепи управления единичной бесфильтровой СФС при односпайковой (а) и берстовой (б) динамике

Изменяя параметры входного воздействия, а именно глубину и частоту фазовой модуляции входного сигнала, а также коэффициент усиления по кольцу СФС, можно регулировать режим работы СФС: от отсутствия нейроморфного поведения до односпайковой и берстовой генерации.

Полученные результаты могут быть использованы при аппаратном проектировании нейроморфных сетей, имеющих достоинства СФС: высокую стабильность частоты и устойчивость к шумовым воздействиям.

Литература

1. Physics for neuromorphic computing / Marković, D., Mizrahi, A., Querlioz, D. et al. // Nat Rev Phys. — 2020. — Vol. 2. — P. 499–510.

Е.К. Ковалёв, студ.; рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ ВАКУУМНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ РАДИОЧАСТОТНОЙ МОЩНОСТИ С РАДИОФОТОННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Для ретрансляторов СВЧ-сигналов необходимы усилители мощности с малыми интермодуляционными искажениями, с высокими значениями энергетической и спектральной эффективности в широкой полосе частот ретранслируемого сигнала [1].

Приведены результаты моделирования вакуумного радиочастотного усилителя с предискажающим линеаризатором для компенсации нежелательного амплитудно-фазового преобразования. В рассмотренной схеме сигнал, пропорциональный изменяющейся амплитуде входного сигнала, модулирует в оптоэлектронном модуляторе Маха-Цендера фазу и амплитуду огибающей оптического несущего колебания, которое при помощи фотодетектора преобразуется во входной сигнал усилителя.

Представлены результаты исследования в вычислительной среде AWR Design Environment (*англ.* Microwave Office) модели линеаризованного вакуумного усилителя мощности с предискажением входного сигнала и широкополосной компенсацией амплитудно-фазовых преобразований при помощи оптоэлектронного модулятора Маха-Цендера в зависимости от выбора параметров усилителя, лазерного источника оптической несущей и характеристик радиофотонных узлов при заданных требованиях к уровню интермодуляционных искажений. Показано, что применение радиофотонных компонентов отечественного производства позволяет в несколько раз расширить реализуемую полосу частот входного сигнала по сравнению с достижимыми при радиочастотном построении при необходимых значениях выходной мощности, энергетической эффективности, уровне искажений в рабочей полосе частот и мешающих излучений в соседних полосах частот, нарушающих требования электромагнитной совместимости.

Сформулированы рекомендации для применения рассмотренной радиофотонной линеаризации в бортовой аппаратуре спутникового ретранслятора СВЧ-сигнала на лампе бегущей волны при помощи отечественной компонентной базы.

Литература

1. **Ковалёв, Е.К.** Радиофотонный линеаризатор усилителя мощности бортового спутникового ретранслятора на ЛБВ. — Тез. докл. XXVII-й Междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп. (11-12 марта 2021 г., Москва): — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с. — С. 27.

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

АНАЛИЗ БИГАРМОНИЧЕСКОГО АВТОГЕНЕРАТОРА С КРАТНОСТЬЮ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ, РАВНОЙ ТРЁМ

В настоящий момент широкое применение находят такие методы понижения фазовых шумов (ФШ) в автогенераторе, как увеличение добротности колебательной системы, использование маломощных активных элементов и др. Ранее [1] был предложен дополнительный метод по уменьшению ФШ за счёт синхронизации двух гармоник в бигармоническом автогенераторе (БАГ) на кратных частотах.

На рис. 1 представлена кривая затягивания БАГ, показывающая зависимость частот связи колебаний ω'_i от парциальных резонансных частот контуров ω_p , при кратности частот $n = \omega_2/\omega_1 = 2$ ($i = 1, 2$). По этой характеристике можно определить область расстроек одного из контуров, где обеспечивается синфазное и, вместе с тем, противоположное влияние флуктуации выходной ёмкости активного элемента (АЭ) на резонансные частоты контуров, что приводит к дополнительной стабилизации частоты.

Было обнаружено [2], что при увеличении генерируемой частоты по отношению к граничной частоте АЭ инерционность 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 выполнено исследование для синхронизации выходного колебания с третьей гармоникой, которая позволяет дополнительно уменьшить ФШ выходного колебания.

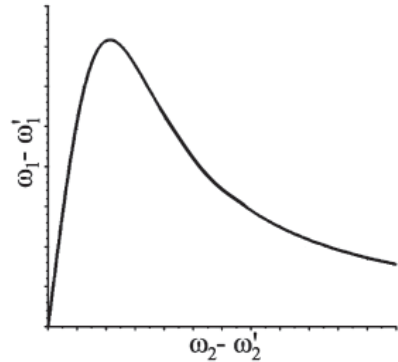


Рис. 1. Кривая затягивания частоты

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

НЕЙРОННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ В ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ

К современной приемо-передающей аппаратуре беспроводной связи и ретрансляции одновременно предъявляются требования высокой энергетической и спектральной эффективности в выделенной полосе радиочастот, заданного уровня интермодуляционных искажений в выделенной полосе, низкого уровня излучений в соседних каналах для выполнения достижения электромагнитной совместимости, увеличенной скорости передачи информации в выделенной полосе радиочастот при допустимых значениях массы и энергопотребления. Для решения возникающих проблем перспективным является применение корректоров (предыскажающих компенсаторов) информационного сигнала на основе искусственных нейронных сетей [1, 2].

В докладе приведено сопоставление возможностей и ограничений применения радиочастотных корректоров с использованием полиномиальных и новых нейронных алгоритмов [3] на основе имитационной модели усилителя с учетом эффекта памяти на базе языка Python с рекуррентным модулем долгой краткосрочной памяти (*англ.* Long short-term memory, LSTM). Приведены результаты оценки стабильности фазового сдвига сигнала и времени обучения нейронной сети.

Сформулированы рекомендации для последующей реализации алгоритма на ПЛИС и возможностей применения алгоритма для снижения мешающих пассивных интермодуляционных искажений в приемо-передающих и антенно-фидерных цепях.

Литература

1. **Белов, Л.А.** Интермодуляционные искажения сигналов сверхвысоких частот. — М., Горячая линия — Телеком, 2020. — 144 с.: ил.
2. **Епифанов, А.А.** Нейросетевые корректоры для линеаризации бортовых спутниковых усилителей мощности. — XXVII-я Междунар. науч.-техн. конф. студ. и асп. (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с. — С. 28.
3. **Hongmin, LI.** Vector Decomposed Long Short-Term Memory Model for Behavioral Modeling and Digital Predistortion for Wideband RF Power Amplifiers // Hongmin, LI. [et al] // IEEE Access (Volume: 8), 2020, pages: 63780–63789, Published: 22 April 2020. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9051831>

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И ОБРАБОТКЕ СИГНАЛА С ГИПЕРФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В [1] обоснована возможность увеличения скорости передачи информации в заданной радиочастотной полосе с требуемой достоверностью при использовании ансамбля сигналов с гиперфазовой модуляцией (ГПФМ) и предложена структура модулятора и демодулятора. В [2] выполнено имитационное моделирование гауссовского канала связи с использованием 18-позиционного поверхностного трехмерного ГПФМ-ансамбля и проверена возможность достижения повышенной энергетической и спектральной эффективности линии при точном выполнении требуемых алгоритмов.

В докладе рассмотрено влияние погрешностей реализации приемо-передающей аппаратуры ГПФМ-сигналов, способных уменьшить эффективность и электромагнитную совместимость такой системы передачи по сравнению с известными решениями на основе многопозиционной фазовой манипуляции и на основе мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов. Основными мешающими причинами выступают; а) неравномерность мгновенной мощности, которая характеризуется увеличенным пик-фактором, б) подрост спектра (*англ.* Spectral Regrowth) вблизи границ выделенной для усилителя мощности радиочастотной полосы; в) интермодуляционные искажения сигнала в пассивных приемо-передающих частотно-разделительных и антенно-фидерных цепях ретранслятора.

При условии решения технических вопросов реализации приемо-передающей аппаратуры для ГПФМ-сигналов применение таких сигналов в спутниковых ретрансляторах позволит более эффективно использовать радиочастотный ресурс, по сравнению с ретрансляционными системами с классическими типами модуляции.

Сформулированы основные требования к узлам и рассмотрены возможные способы построения ГПФМ-устройств с использованием отечественной компонентной базы.

Литература

1. **Вильдерман, Е.Н.** Гиперфазовая модуляция в спутниковых системах связи. // Ракетно-космич. Приборостр. и информ. системы. — 2020, Том 76 вып. 3. — С. 36–41.
2. **Вильдерман, Е.Н.** Канал связи с гиперфазовой модуляцией. — РЭЭ-2021: 27-я Межд. науч.-техн. конф. студ. и асп. (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с. — С. 26.

Е.Е. Козлова, студ.; рук.: А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПИНТРОННЫЙ ПАССИВНЫЙ ДЕТЕКТОР СУБТЕРАГЕРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Перспективными материалами для использования в терагерцевых технологиях являются антиферромагнетики (АФМ), резонансные частоты которых лежат в широких пределах [1].

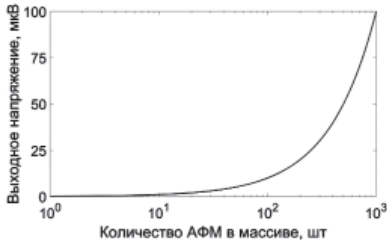


Рис. 1. Кривая затягивания частоты

Спиновый ток, возникающий в массиве АФМ в результате спиновой накачки, конвертируется в электрический ток в слое платины и приводит к возникновению разности потенциалов на ее обкладках. Использование массива АФМ в гетероструктуре позволяет суммировать в общей шине платины вклады постоянных токов от каждого элемента, повышая уровень выпрямленного напряжения. На рис. 1 показана зависимость выпрямленного напряжения на платине от количества АФМ в массиве. Видно, что увеличение числа АФМ в массиве приводит к линейному росту выходного напряжения.

Таким образом, в работе показано, что на основе предложенной структуры можно реализовать перестраиваемый по частоте детектор амплитуды периодических электромагнитных колебаний с высоким уровнем выходного напряжения.

Литература

1. Возбуждение терагерцевых магнонов в антиферромагнитных наноструктурах: теория и эксперимент / Сафин А.Р., Никитов С.А., Кириллюк А.И. [и др.]. // ЖЭТФ. 2020. Т. 158. № 1. — С. 85–99.

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

ВОЗБУЖДЕНИЕ СВЧ-КОЛЕБАНИЙ В КРИСТАЛЛАХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКА С ПОМОЩЬЮ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ

Антиферромагнитные материалы (АФМ) в настоящее время привлекают большое внимание исследователей в силу потенциальных возможностей их практического использования в субтерагерцевой технике [1]. У многих АФМ существует две и больше резонансных частот, расположенных как в миллиметровом, так и в субмиллиметровом диапазонах длин волн. Так, для гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ существуют две резонансные частоты, которые в нулевом магнитном поле равны 10 и 160 ГГц. Задача возбуждения этих резонансных частот в монокристаллах гематита с помощью полосковых линий передачи представляется актуальной в силу потенциальной возможности интегральной реализации.

В данной работе проведено электродинамическое моделирование в пакете прикладных программ CST Studio Suite возможности резонансного поглощения монокристалла гематита, помещенной на копланарную линию передачи, согласованную до 50 ГГц с постоянным коэффициентом стоячей волны (рис. 1). Рассчитана зависимость частоты резонанса низшей моды гематита от величины подмагничивающего поля при возбуждении колебаний квази-Т волной копланарной линии передачи. Для возбуждения верхней моды гематита предлагается разработка скрещенной схемы из двух копланарных линий передачи, так как для ее возбуждения необходимо реализовать круговую поляризацию магнитного поля в плоскости образца, что невозможно сделать с помощью простейшей копланарной линии.

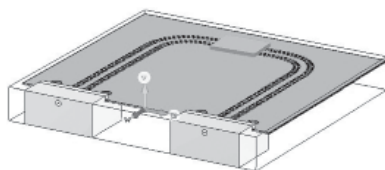


Рис. 1. Монокристалл гематита, расположенный на копланарной линии передачи

Литература

1. Возбуждение терагерцевых магнонов в антиферромагнитных наноструктурах: теория и эксперимент / Сафин А.Р. [и др.] // ЖЭТФ. — 2020. Т. 158. — Вып. 1. — С. 85–99.

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 [1]. Один из вариантов структуры такого блока представлен на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема блока формирования гидроакустических сигналов

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.

В работе рассматриваются задачи возможности использования усилителей класса D [2], управление которыми осуществляется посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [3]. Подобные устройства, работающие в области низких частот, выпускаются массово, однако разработка таких устройств для более высоких частот является специальной задачей.

Управляющий ШИМ сигнал предлагается формировать цифровыми методами, например, на ПЛИС, что позволит с высокой точностью на одной микросхеме формировать сигнал специальной формы и ШИМ для его передачи через усилитель, повышая компактность реализации.

В работе проводится проектирование модели блока формирования гидроакустических сигналов на основе ШИМ модулятора и ключевого усилителя, разработка модели такого блока в пакете Micro-Cap, разработка ШИМ модулятора на ПЛИС на языке VHDL. Представленные в работе модели и рекомендации могут быть использованы при проектировании трактов формирования широкополосных гидроакустических сигналов.

Литература

1. Остапенко, Г.С. Усилительные устройства: Учеб: пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1989.
2. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. — М.: Высш. Школа, 1982.
3. Разуваев Ю.Ю. Математическое моделирование усилителя D класса на основе широтно-импульсной модуляции. ВГУ. 2017.

*А.Д. Щербинин, асп. (НИУ «МЭИ»); рук. К.В. Ромащенко, к.т.н.
(АО «Российские космические системы», Москва)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОФОТОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СПУТНИКОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРАХ

В настоящее время в современных бортовой спутниковой технике актуальна проблема одновременного достижения высоких значений энергетической и спектральной эффективности, широкой полосы частот, соблюдением требований по электромагнитной совместимости, ограничений по массо-габаритным показателям и энергопотреблению.

Радиофотонные решения позволяют решить в той или иной мере все эти проблемы, обладая неоспоримыми преимуществами по сравнению со своими традиционными радиочастотными аналогами [1].

Для решения этих задач используются разные методы, однако наиболее эффективными являются замена формирователей опорной частоты, преобразователей частот [2] и систем передачи данных внутри космического аппарата их радиофотонными аналогами (рисунок 1).

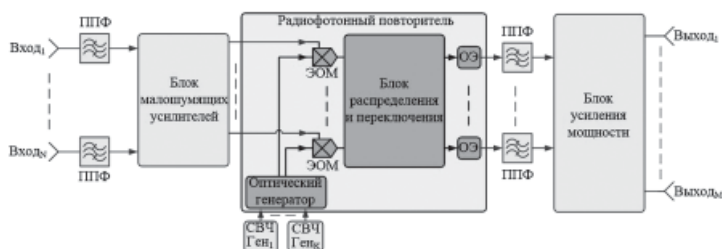


Рис. 1. Структурная схема радиофотонного ретранслятора

Научная новизна работы заключается в сопоставительном анализе современных решений, применяемых в бортовых спутниковых ретрансляторах, построенных на основе радиофотонных технологий.

В докладе автором предложены дальнейшие направления исследований в области радиофотоники применительно к спутниковым ретрансляторам. Представлены перспективные возможные технические решения в области бортовой ретрансляционной спутниковой аппаратуры.

Литература

1. Щербинин, А.Д. Применение радиофотонных компонентов в бортовых спутниковых ретрансляторах / А.Д. Щербинин // Тез. докл. XXVII-й Междунар. науч.-техн. конф. студ и асп. (11–12 марта 2021 г., Москва): — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с. — С. 26.
2. Charalambous G. Microwave Photonic Frequency Generation and Conversion Unit Design for Ka-band Satellite Payloads / G. Charalambous, S. Iezekiel // International Conference on Space Optics—ICSO 2020 (30 March–2 April 2021, Virtual Conference), 2021. — Vol. 11852. — P. 1–9.

К.Ю. Ванин, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУБТЕРАГЕРЦЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ АНТИФЕРРОМАГНЕТИК / ТЯЖЕЛЫЙ МЕТАЛЛ

Разработка спектроанализаторов, способных анализировать сигналы с частотами в сотни гигагерц, представляется актуальной задачей, решений которой ранее не предлагалось. Для этого необходимы автогенераторы, резонансные частоты которых лежат в субтерагерцевом диапазоне частот [1]. В магнетизме такими материалами являются антиферромагнетики (АФМ). Например, частота АФМ резонанса оксида никеля равна 160 ГГц и может меняться изменением эффективной анизотропии материала, например, с помощью эффекта магнитострикции или спинового тока.

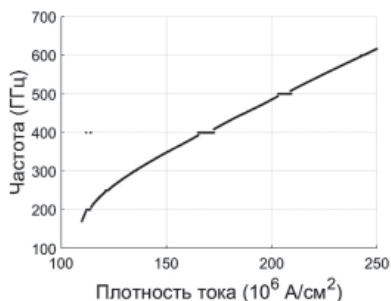


Рис. 1. Зависимость частоты колебаний АФМ осциллятора в составе спектроанализатора от плотности постоянного тока

В данной работе предлагается использовать наноструктуру, состоящую из АФМ и тяжелого металла, например платины, через который пропускается анализируемый сигнал и сигнал управления. При изменении управляющего тока меняется собственная частота колебаний АФМ осциллятора. В момент времени, когда частота колебаний анализируемого сигнала попадает в полосу синхронизма АФМ осциллятора, происходит захват этой частоты. В выполненных расчетах захват частот (синхронизация) наблюдается на частотах 400 и 500 МГц двух внешних сигналов (рис. 1). Далее выходное постоянное напряжение АФМ осциллятора обрабатывается и формируется сигнал, пропорциональный разности фаз синхронизируемых колебаний и равный нулю вне полосы синхронизма. По этому сигналу можно оценить спектр анализируемого сигнала в полосе синхронизма. Таким образом, спектроанализатор, построенный на основе АФМ, работает в режиме фазовой синхронизации к внешнему исследуемому сигналу. Мною было проведено численное моделирование описанных выше явлений.

Литература

1. **Antiferromagnetic** THz-frequency Josephson-like Oscillator Driven by Spin Current / R. Khymin [et al.] // Sci. Rep. 7, 43705. — Doi: 10.1038/srep43705 (2017).

И.А. Пашкин, студ.; рук-ли Д.А. Волков, А.Р. Сафин (НИУ «МЭИ»)

ВЫПРЯМЛЕНИЕ СВЧ КОЛЕБАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНЕТИК — ТЯЖЁЛЫЙ МЕТАЛЛ

В настоящее время в связи с развитием 5G и 6G технологий возникает потребность в компактных и широко перестраиваемых детекторах СВЧ-колебаний в диапазоне частот от единиц до нескольких десятков ГГц. Традиционная технология, использующая железо-иттриевый гранат (ЖИГ) в качестве резонаторов магнито-статических колебаний, позволяет перестраивать частоту ферромагнитного резонанса до 50 ГГц при помощи магнитного поля с индукцией до 2 Тл. В рамках использования ЖИГ-технологий активно развивается направление исследований гетероструктур, включающих тонкие пленки ЖИГ (от единиц микрон до единиц нанометров) и нанослой тяжелых металлов, таких как платина. Было показано [1], что однородный ферромагнитный резонанс, возбуждаемый в ЖИГ, приводит к возникновению спинового тока на границе ЖИГ-платина, который в свою очередь за счет спинового эффекта Холла вызывает ненулевое падение напряжения U_d на противоположных концах платины.

В данной работе были проведены эксперименты по определению ферромагнитного резонанса, а так же по детектированию выпрямленного напряжения U_d в диапазоне частот от 500 МГц до 26 ГГц в структуре ЖИГ-платина, при возбуждении ферромагнитного резонанса в ЖИГ копланарной линии передачи (рис. 1).

Было показано, что магнитная компонента квази-ТЕМ СВЧ волны вызывает ферромагнитный резонанс в ЖИГ, который может быть зарегистрирован за счет обратного спинового эффекта Холла в платине. Использование многослойной гетероструктуры позволило автору данного доклада создать современное малогабаритное детектирующее устройство способное функционировать с частотой до 50 ГГц. Перестройка резонансной частоты ЖИГ осуществлялась с помощью постоянного магнитного поля.

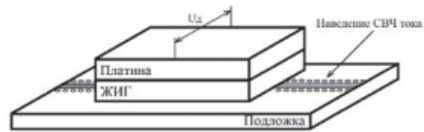


Рис. 1. Схема детектирования СВЧ сигнала с помощью гетероструктуры ЖИГ-платина

Использование многослойной гетероструктуры позволило автору данного доклада создать современное малогабаритное детектирующее устройство способное функционировать с частотой до 50 ГГц. Перестройка резонансной частоты ЖИГ осуществлялась с помощью постоянного магнитного поля.

Литература

1. Spin Hall effect in ITO/YIG excited by spin pumping and spin Seebeck experiments [Electronic resource] / Zhu Kejian [et al.] // Chinese Physics B, 2019 — Режим доступа: http://cpb.iphy.ac.cn/article/2019/1969/cpb_28_1_017201.html — Загл. с экрана.

Секция 3
УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ
Radio signal processing devices

Председатель секции: д.т.н., профессор Гребенко Юрий Александрович

Секретарь секции: Филатов Виктор Александрович

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

МОДЕМЫ НА БАЗЕ БАНКОВ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ БАТТЕРВОРТА И БЕССЕЛЯ

Известны фильтровые системы передачи дискретной информации, реализуемые на базе вещественных фильтров [1]. В этих системах ортогональность сигналов переносчиков обеспечивается их разделением во временной и (или) частотной областях. В докладе рассматривается модель системы передачи дискретной информации с ортогональными сигналами на базе комплексных полосовых фильтров, близких по свойствам к аналитическим [2]. В этом случае общее количество ортогональных сигналов увеличивается и можно увеличить скорость передачи данных.

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. Если в модуляторе использовать БИХ-фильтры, импульсные характеристики которых бесконечные и несимметричные, то необходимо в демодуляторе использовать согласованные с усеченной импульсной характеристикой цифровые комплексные КИХ-фильтры. Возможен также квазиоптимальный вариант построения модема, использующий одинаковые фильтры в модуляторе и демодуляторе. Можно предположить, что в таком варианте целесообразно использовать комплексные полосовые фильтры с НЧ-прототипом Бесселя, имеющие близкую к линейной форму ФЧХ и, соответственно, достаточно симметричную импульсную характеристику. В докладе рассматриваются результаты схемотехнического моделирования систем передачи данных с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ-16) в среде MicroCap на базе банков цифровых комплексных полосовых фильтров с НЧ-прототипами Баттерворта и Бесселя 4-го порядка. Проводится сравнение частотных и временных характеристик каналов связи, а также уровней межсимвольных и межканальных искажений при одинаковом числе каналов, одинаковых центральных частотах и полосах пропускания. Приводятся алгоритмы реализации модема на микроконтроллерах и результаты экспериментального исследования макета, реализованного на двух отладочных платах.

Литература

1. **Балашов В.А., Воробиенко 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.

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

МОДЕМЫ НА БАЗЕ БАНКОВ ЦИФРОВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛОСОВЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ С ЛИНЕЙНЫМИ ФЧХ

Известны фильтровые системы передачи данных на базе цифровых вещественных КИХ-фильтров [1]. В докладе приводятся результаты разработки и реализации на микроконтроллере алгоритмов квадратурной амплитудной модуляции и демодуляции на базе банков цифровых комплексных полосовых КИХ-фильтров с линейными ФЧХ. В этом случае импульсные характеристики идентичных комплексных фильтров в модуляторе и демодуляторе будут симметричными и одинаковыми.

Выбран способ построения цифровых комплексных фильтров с линейной ФЧХ и симметричной импульсной характеристикой, использующий метод разложения в ряд Фурье [2]. Для нахождения структурной схемы комплексного фильтра также используется метод комплексной задержки [3]. В этом случае имеется возможность организовать перестройку центральных частот комплексных полосовых КИХ-фильтров без изменения формы частотной характеристики. Выбор центральной частоты осуществляется заданием двух коэффициентов.

Рассмотрены две структурные схемы и два алгоритма функционирования трехканальной системы передачи данных. Приводятся результаты моделирования и сравнения двух систем передачи данных с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ-16) в среде MicroCap. Проводится измерение частотных и временных характеристик каналов связи, а также оценка уровней межсимвольных и межканальных искажений.

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

Литература

1. **Балашов В.А., Воробиев 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.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЁМНИКА РЛС С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ СИГНАЛОМ В РЕЖИМЕ СЛЕЖЕНИЯ

Основным содержанием доклада является описание модели алгоритма цифровой обработки квазинепрерывного сигнала и фильтра слежения.

В соответствии с заданным алгоритмом обработка сигнала производится в несколько этапов. Первой процедурой является фильтрация сигнала цифровым полосовым фильтром. После этого производится цифровое преобразование частоты, которое включает в себя дискретное преобразование Гильберта и перенос спектра комплексного колебания в область нулевой частоты. Далее для улучшения отношения сигнал/шум и понижения частоты дискретизации производится накопление и децимация отсчётов комплексной огибающей. Для формирования 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 имеет максимальное значение. Далее дальность уточняется по значениям уровня сигнала в соседних каналах. Для окончательного измерения дальности формируются три строка (триада). Впоследствии производится экстраполяция дальности на следующий такт [1]. Параллельно с этим согласно заданному закону движения формируется истинная траектория цели и по аналогичному алгоритму формируется триада и вычисляется дальность. В итоге истинное значение дальности сравнивается с предсказанным.

Исследование проводится на основе разработанной модели в единой среде разработки «Qt Creator» [2] на языке программирования C++. При действии смеси сигнала с шумом проводится сопоставление с результатами моделирования, полученными при отсутствии шума. Результаты моделирования подтверждают правильность алгоритма обработки сигнала.

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.

К.А. Кудряков, студ.; рук. В.С. Добромыслов, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Дисковые диэлектрические резонаторы (ДР) с азимутальными колебаниями (АК) находят применение в технических устройствах СВЧ диапазона. Большое практическое значение имеет повышение добротности ДР.

В данной работе рассмотрены резонаторы с АК на основе двух соосно расположенных дисков из кристаллического кварца с ориентацией оси анизотропии вдоль геометрической оси. Добротность кварцевых резонаторов в режиме HE колебаний в миллиметровом диапазоне волн близка к $5 \cdot 10^4$.

Исследованы зависимости резонансных частот $HE_{21,1,1}$ колебания ДР из кристаллического кварца с диаметром 35 мм и толщиной каждого диска — 2,5 мм; 3,0 мм; 3,5 мм от величины зазора между дисками Δ . В диапазоне перестройки радиационная добротность $HE_{21,1,1}$ колебания составляет 10^5 – 10^7 . Представлены результаты по распределению электромагнитной (ЭМ) энергии в различных областях ДР.

При исследовании характеристик двухслойного ДР использованы методы приближенного [1] и более точного анализа [2]. Сравнение полученных данных с результатами измерений показывает хорошее соответствие.

Для кварцевых резонаторов с толщиной дисков $d = 2,5$ мм при $\Delta = 0,4$ мм доля ЭМ энергии во внешней среде с учетом зазора достигает 20%. Для одиночных дисковых ДР этот показатель в рабочем диапазоне частот составляет (3–5)%. В случае воздушной внешней среды добротность двухслойных кварцевых резонаторов за счет перераспределения ЭМ энергии может заметно превышать добротность одиночных ДР.

Полученные в работе результаты можно использовать в СВЧ устройствах на основе высокودобротных ДР, при измерениях параметров тонкопленочных диэлектриков.

Литература

1. **Кнох R.M., Toullos P.P.** Integrated circuits for millimeter through optical frequency range // In Proc. Symposium on submillimeter waves. March 31, April 1 and 2 1970. New York, P. 497–516.
2. **Добромыслов В.С., Калинин В.И., Крюков А.В.** Расчет спектра собственных колебаний экранированных диэлектрических резонаторов // Известия ВУЗов. Радиофизика 1990. Т. 33. № 9. С. 1068–1077.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРИЁМНИКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Известно, что широкополосные системы связи имеют преимущества в сравнении с узкополосными системами. Увеличение базы передаваемого сигнала за счёт использования широкополосных сигналов позволяет значительно повысить как скорость передачи, так и скрытность передаваемых данных [1].

Целью работы является создание модели широкополосного корреляционного приёмника гидроакустической связи.

В работе проведён расчёт основных параметров рассматриваемого приёмника, проведён расчёт чувствительности, коэффициентов усиления и шума. Расчёт и моделирование проводилось для двух схемных реализаций: для униполярного сигнала и сигнала, представленного в дифференциальной форме [2]. Моделирование приёмника осуществлялось в САПР «Matlab», «MicroCAP».

В докладе рассматривается содержание корреляционного метода обработки [3]. Приводится математическое описание сигналов на входах и выходах каждого блока структурной схемы корреляционного метода обработки. Рассматривается принцип работы основных блоков цифровой обработки сигналов. Проводится сравнительный анализ корреляционных приёмников, реализованных для приёма и обработки униполярных и дифференциальных сигналов. Показаны преимущества приёмника с дифференциальным подключением сигналов.

Схемные решения и модели корреляционных приёмников для униполярных и дифференциальных сигналов могут применяться в различных подводных средствах связи, гидролокации, беспроводной подводной связи с автономными аппаратами и пр.

Литература

1. **Кестер У.** Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. М.: Техносфера, 2010.
2. **Кестер У.** Применение высокоскоростных систем. М.: Техносфера, 2009.
3. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.

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

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА НА БАЗЕ ПАИС С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Программируемые аналоговые интегральные схемы (ПАИС) предоставляют уникальные возможности для реализации динамического переконфигурирования микросхемы как полностью, так и частично на параметрическом уровне.

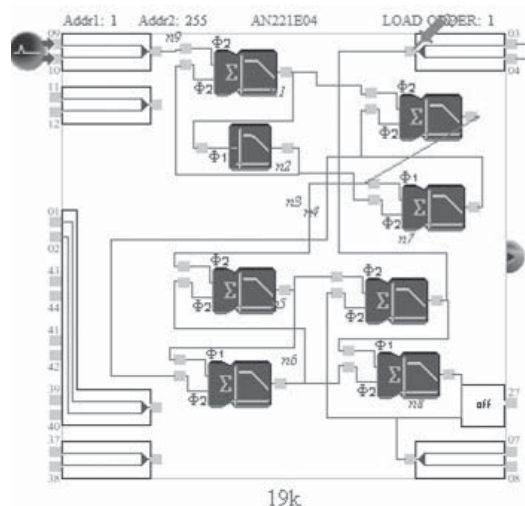


Рис. 1. Функциональная схема комплексного аналогового полосового фильтра на ПАИС

для начальной конфигурации ПАИС и для перестройки центральной частоты фильтра. Динамическое управление реализуется с помощью микроконтроллера STM32H743ZI.

Контроль реализованной процедуры перестройки выполнен с помощью осциллографа, на экране которого наблюдалась импульсная характеристика канала разработанного комплексного фильтра на ПАИС.

Литература

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

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

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОРНЕОМЕТРИИ

Известно, что корнеометрия — это метод оценки уровня гидротации кожного покрова, например, человека, основанный на измерении импеданса кожного покрова. Метод предполагает в качестве модели кожи электрическую схему замещения, содержащую параллельное соединение резистора и конденсатора (RC-цепь).

Целью работы является разработка измерительного комплекса с программным обеспечением и его настройка для измерения параметров указанной RC-цепи.

Основными задачами в процессе разработки являлись создание и реализация алгоритма работы устройства, калибровка измеренных значений и выведение результатов измерений на внешнее устройство в виде персонального компьютера (ПК).

Разрабатываемый комплекс состоит из измерительного модуля, последовательного интерфейса и программного обеспечения для ПК, которое позволяет управлять устройством и получать от него результаты измерения.

Основой измерительного модуля является микроконтроллер PIC24FV16KA301 [1], который с помощью внутренней периферии, такой как модуль времени зарядки (СТМУ) способен подавать сигнал на подключённую в схему RC-цепь [2]. По измеренным значениям напряжения анализируется переходная характеристика цепи, на основе которой рассчитываются параметры RC-цепи.

В докладе представлен алгоритм расчёта параметров цепи по полученным данным.

Для написания программы передачи данных по цифровым последовательным интерфейсам ввода/вывода информации использовалась среда программирования MPLAB X IDE, где код для настройки микроконтроллера пишется на языке C. Передача данных от микроконтроллера до ПК осуществляется с помощью моста UART — USB. Программное обеспечение для обработки полученных данных на ПК написано на языке программирования Python.

В докладе приводятся результаты проведённого эксперимента в виде обработанного массива полученных данных.

Литература

1. [Электронный ресурс].
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30009995e.pdf>
2. [Электронный ресурс].
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30009995e.pdf>

А.И. Гушин, студ.; рук. М.Г. Асташев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БЛОКА ОБРАБОТКИ СИГНАЛА НА БАЗЕ ПАИС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

Системы управления (СУ) вторичными источниками питания создаются на основе микроконтроллеров. При полном использовании микросхем они потребляют максимальную мощность, поэтому для снижения их нагрузки в составе СУ целесообразно применять программируемые аналоговые интегральные схемы (ПАИС).

В докладе рассматривается процесс и представлены результаты разработки на базе ПАИС типа 5400ТР035 компании «Дизайн Центр «Союз» [1] блока обработки сигнала обратной связи по напряжению, который необходим для формирования импульсов управления силовым ключевым элементом и стабилизации выходного напряжения источника питания.

По методике, приведенной в [2], рассчитывается и далее с помощью САПР Electric VLSI Design System формируется схема СУ, показанная на рис. 1.

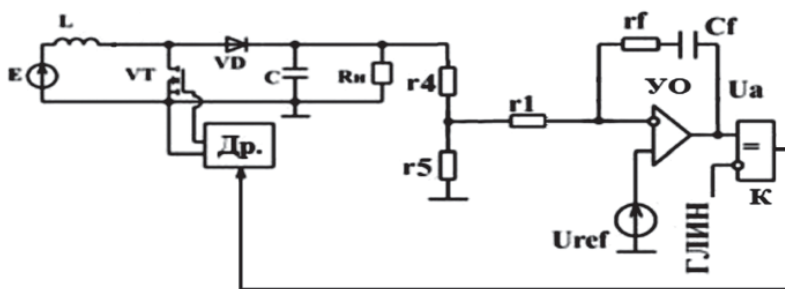


Рис. 1. Схема системы управления вторичным источником питания

С помощью САПР проектируется схема разрабатываемого блока, состоящая из усилителя ошибки (УО) и компаратора (К), задаются выходы для входного воздействия генератора линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) и для выходного импульсного сигнала. Выполняется SPICE-моделирование работы схемы.

Контроль функционирования СУ проведен с помощью осциллографа, на экране которого наблюдались сформированные на одном из выводов ПАИС импульсы, необходимые для подачи на управляющие электроды силового ключа.

Литература

1. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://dcsouyz.ru/files/PAIS/5400TP035/specifikacija_5400tr035_ver2.1.pdf
2. Недолужко И.Г., Сергеев Д.А. Конспект лекций по дисциплине «Анализ дискретных схем» — М.: НИУ «МЭИ», 2012.

И.И. Младенович, студ.; рук. А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ПЛИС ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Одним из ключевых компонентов беспилотного летательного аппарата является навигационная система, определяющая положение аппарата в пространстве.

Известны достаточно простые неавтономные методы навигации, которые используют внешние ориентиры или сигналы. Однако их работа зависит от внешних условий, например, качества радиосвязи. Более надёжны автономные методы. Таким методом является инерциальный метод навигации, основанный на свойствах инерции тел [1].

Работа инерциальной навигационной системы (ИНС) заключается в измерении ускорений летательного аппарата и его угловых скоростей относительно трёх осей аппарата. По этим данным определяются местоположение аппарата, его скорость, курс и другие параметры.

Для сбора информации о полете в состав ИНС включаются акселерометры, считывающие линейное ускорение, и гироскопы, позволяющие определить углы наклона аппарата относительно основных осей: тангаж, рыскание и крен. Такой способ навигации реализован в разработанном макетном образце устройства на основе ПЛИС Intel Cyclone V [2], что позволяет добиться лучших скорости и комплексирования.

Программное обеспечение устройства разработано в среде программирования Quartus Prime 17.0 на языке Verilog. Отладка программного обеспечения произведена с помощью программатора Altera Blaster.

Литература

1. **Кузовков Н.Т., Салычев О.С.** Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
2. [Электронный ресурс]. URL: https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/hb/cyclone-v/cv_51002.pdf

Секция 4
АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА
И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН
Antennas and propagation

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

Секретарь секции: Дубовицкий Максим Алексеевич

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

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПУТНИКОВОГО РАДИОКАНАЛА

Создание спутниковой радиолинии является сложным процессом, включающим в себя множество этапов. Один из них — это анализ энергетики предполагаемой радиолинии [1]. Зачастую требования, предъявляемые к системе, оказываются очень строгими [2], и тогда возникает необходимость многократно проанализировать энергетические параметры радиолинии и определить компромиссы в отдельных устройствах радиосистемы. В частности, требуется определить достижимые направленные свойства передающей и приемной антенн, их эллиптичности, возможную подводимую мощность, частоту (или частотный диапазон) на которой будет работать антенна, и т.д. Именно анализ характеристик антенн и потерь по трассе распространения позволяет определить конфигурацию системы.

На данный момент единой универсальной методики расчёта энергетики (энергетического запаса) радиолинии не существует, и, следовательно, возникает необходимость изучения существующих методик расчета и выбора одной из них или же создания новой. В расчете следует учитывать, что сигнал подвергается влиянию множества различных факторов: на него оказывают влияние метеоусловия, отражение в ионосфере, модуляционные потери и др.

На текущий момент программа позволяет выполнить расчет характеристик лишь для основных видов радиолинии — линии «вверх» и «вниз», при этом, наземная станция (НС) должна находиться в средних широтах. В будущем, планируется увеличить количество учитываемых факторов, например, плотность потока мощности у земли [3], а также возможную зону нахождения НС.

Литература

1. **В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин** Спутниковые сети связи. М.: Альпина паблишер, 2004. УДК 621.396.946
2. **Кантор Л.Я.** Спутниковая связь и вещание. Справочник. М.: Радио и связь, 1988 г.
3. **Пермяков В.А., Михайлов М.С.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.

В.Д. Угничев, асп.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОЧАСТОТНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Многочастотные облучатели имеют множество плюсов, в частности позволяют рациональнее использовать зеркальную антенну в условиях пространственных ограничений.

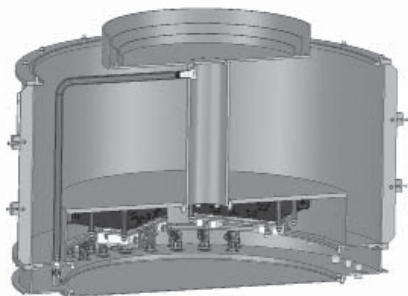


Рис. 1. Модель опытного образца облучателя в разрезе

характеристик электродинамической модели и опытного образца. Также реализована программа оптимизации характеристики многочастотного облучателя, основанная на объединении MATLAB и ANSYS HFSS.

В качестве примера рассматривается изготовленный опытный образец облучателя метрового и дециметрового диапазонов, объединяющий антенну метрового диапазона с коаксиальной структурой и вибраторным возбуждением [1] и облучатель дециметрового диапазона, рассмотренный в [2].

Литература

1. **V.D. Ugnichev, B.L. Kogan, I.V. Belkovich, V.N. Seleznyov**, “Multi-band Reflector Antenna Feed Design Based on Coaxial Structure,” 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059239.
2. **Селезнев В.Н., Белькович И.В., Коган Б.Л.** Расчет и моделирование облучающего устройства для наземных антенн, входящих в состав комплексов системы «Коспас-Саргат» // Антенны. 2015. № 9 (220) С. 23–26.

В.Д. Угничев, асп.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОРТОВОЙ РЕЗОНАНСНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ S-ДИАПАЗОНА

Классические кольцевые щелевые антенны часто применяются в качестве слабонаправленных бортовых антенн за счет возможности компактного расположения в корпусе летательного аппарата и достаточно высокого уровня механической прочности [1]. Кольцевую щель можно рассматривать как открытый конец коаксиального волновода, присоединенного к внешнему экрану.

Ввиду симметричного распределения поля диаграмма направленности кольцевой антенны в плоскости щели представляет собой окружность. В плоскости, перпендикулярной щели, диаграмма направленности может быть описана формулой:

$$f(\theta) = J_1\left(\frac{2\pi}{\lambda}r_0 \sin \theta\right) \quad (1)$$

где J_1 — функция Бесселя; r_0 — средний радиус щели.

В рамках проработки нового конструктива кольцевых антенн было проведено численное моделирование и оптимизация РКЩА, описанного выше конструктива. Расчет был проведен методом конечных элементов (МКЭ) с использованием современных САПР.

В данной работе рассматривается полный цикл проектирования и макетирования описанной антенны, проводится анализ и сравнение характеристик антенны, полученных по результатам электродинамического моделирования и экспериментального макетирования.

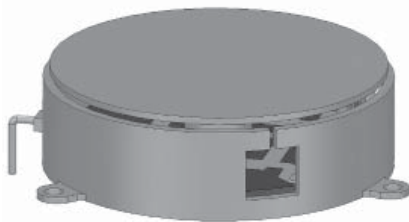


Рис. 1. Модель кольцевой щелевой антенны S-диапазона

Литература

1. Селезнев В.Н., Белькович И.В., Коган Б.Л. Расчет и моделирование облучающего устройства для наземных антенн, входящих в состав комплексов системы «Коспас-Сарсат» // Антенны. 2015. № 9 (220) С. 23–26.

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

СРАВНЕНИЕ ТОПОЛОГИЙ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Малогабаритные антенны, такие как микрополосковые (МПА), довольно распространены в наше время. Такие антенны используются как в качестве одиночного излучателя, так и в составе антенных решеток (АР). Зачастую требуется, чтобы такая антенна обладала круговой поляризацией. Для реализации круговой поляризации у МПА можно использовать два способа: первый — использование дополнительного устройства, например направленного ответвителя (НО); второй — усовершенствование топологии излучателя, а именно сделать излучатель несимметричным.

В данной работе, на основе второго способа, были спроектированы три топологии МПА в САПРе ANSYS HFSS. Первая, «базовая» модель, взята из книги [1] (рис. 1 (а)). Вторая топология взята из статьи [2] (рис. 1 (б)). Третья топология, является модернизацией второй модели (рис.1 (в)). Изменение топологии МПА, в данном случае различный вырез, приводит к разному распространению поля E по площади антенн, что как раз влияет на поляризацию антенны.

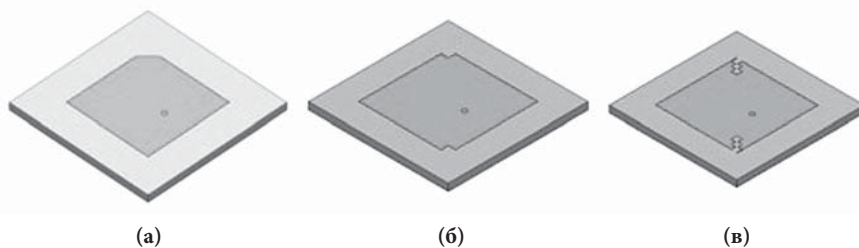


Рис. 1. Топологии МПА, рассмотренные в работе

Между спроектированными антеннами было проведено сравнение по основным характеристикам: коэффициент эллиптичности (КЭ), коэффициент усиления (КУ), широкополосность. В результате сравнения был сделан вывод о том, что изменение выреза относительно «базовой» модели дает значительный выигрыш в величине КЭ, но при этом усложняет конструкцию МПА.

Литература

1. **Панченко Б.А., Нефедов Е.И.** Микрополосковые антенны // М.: Радио и связь. 1986, 144 стр.
2. **Wong K.L.** Compact and broadband microstrip antennas // NY. John Wiley & Sons. 2002, pp.

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

УВЕЛИЧЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОСТИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН НА ОСНОВЕ МНОГОРЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА

Многорезонансный метод [1] работает по принципу возбуждения паразитных излучателей, расположенных вблизи излучающих и неизлучающих кромок микрополосковой антенны (МПА). Данный метод строится на распределении силовых линий электрического поля на поверхности МПА (рис. 1). По распределению модуля электрического поля, можно заметить, что электрическое поле в основном сконцентрировано на краю МПА, следовательно, можно предположить, что взаимосвязь между паразитными излучателями, расположенными вблизи излучающих кромок будет больше, поскольку напряженность электрического поля там принимает равномерный вид, а в случае их расположения вблизи неизлучающих, где распределение электрического поля изменяется по косинусоидальному закону — меньше. Из этого следует, что необходимо располагать паразитные излучатели к неизлучающим краям ближе, в отличие от излучающих.

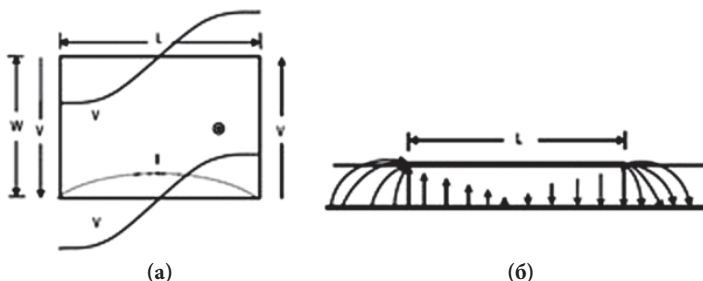


Рис. 1. Распределение электрического поля

В данной работе, на основе данного метода, в САПРе ANSYS HFSS были спроектированы и изучены три модели МПА на 3 ГГц, а затем сделаны в «железе» и исследованы на широкополосность.

Литература

1. **Girish K., Kuldip C.**, Directly Coupled Multiple Resonator Wide-Band Microstrip Antennas, IEEE Transactions on antennas and propagation, VOL. AP-33, NO. 6, JUNE 1985.
2. **Girish K., Ray K.P.** «Broadband Microstrip Antennas», Artech House antennas and propagation library, 2003, 432 с.

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

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СОСТАВЕ БОРТОВЫХ РАДИОКОМПЛЕКСОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Целью работы является исследование алгоритмов цифрового диаграммообразования и технических аспектов их применения [5] для оптимизации параметров цифровых антенных решеток, а также повышения помехозащищенности радиоэлектронной аппаратуры, выполняющей радиолокационные и навигационные функции.

Работа включает в себя:

- Формулирование и анализ современных требований по помехозащищенности радиолокационных и навигационных систем с учетом возможных источников ненамеренных и намеренных радиопомех, а также условий работы и особенностей бортовых радиокomплексов летательных аппаратов, в составе которых они будут использоваться [3, 5].
- Анализ схем построения, способов реализации, применения цифровых антенных решеток, а также выбор оптимального для решения конкретных задач и подходящего для моделирования варианта их исполнения [5].
- Математическое моделирование цифровой антенной решетки [1, 2, 4] с целью оптимизации её параметров и повышения эффективности при функционировании в условиях радиоэлектронного противодействия путем реализации комплекса технических решений.

Итогом работы является получение математической модели антенной решетки с цифровым диаграммообразованием, которая при ее использовании в составе радиолокационных и навигационных систем будет обеспечивать уровень помехозащищенности [3], достаточный для выполнения летательными аппаратами возложенных на них задач.

Литература

1. Михайлов М.С., Пермяков В.А., Сазонов Д.М. Расчет энергетических характеристик фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель). Журнал радиоэлектроники. 2014. № 2. С. 5.
2. Пермяков В.А., Михайлов М.С. Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью. Радиотехника. 2013. № 10. С. 083–088.
3. Бодров В.В., Исаков М.В., Пермяков В.А. Внешняя электромагнитная совместимость и антенны. — М.: Издательство МЭИ, 2006 г.
4. Корогодин И.В. Диаграмма направленности антенной решетки. Лабораторная работа № 2: методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2014. — 31 с.
5. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Шмачилин П.А. Бортовые цифровые антенные решетки и их элементы. — М.: Радиотехника, 2013. — 208 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА, ГОРОДА И ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЫШЕК МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

В настоящее время необходимость в развитии сети передачи данных «Интернета вещей» и последнего поколения мобильной связи 5G существенно возрастает. В связи с этим требуется оптимизация расчетов с учетом разнообразия окружающей среды [3, 4]. Для таких целей широко применяются приближенные высокочастотные методы электродинамики. В данной работе рассматривается изучение и моделирование методик расчета распространения радиоволн с учетом сложного рельефа, пролегающего на пути радиотрассы с использованием методов геометрической оптики и параболического уравнения [1, 2]. Расчеты проводятся в среде MATLAB. Для реальной геометрии городской застройки используются цифровые карты местности.

Метод геометрической оптики основан на построении и вычислении волновых полей в различных средах. Среди достоинств данного метода можно отметить наглядность и простоту алгоритмов. К недостаткам относятся неприменимость в зонах тени и невозможность описания явлений дифракции. Метод параболического уравнения, в свою очередь, является наиболее эффективным в сравнении с другими приближенными методами. Он позволяет учесть влияние рефракции радиоволн в тропосфере, неровностей земной поверхности и лесных массивов.

Литература

1. **М.А. Леонтович, В.А. Фок.** Решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности Земли по методу параболического уравнения // ЖЭТФ, 16, 1946, № 7, стр. 557.
2. **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.
3. **M.S. Mikhailov, E.S. Malevich, V.A. Permyakov.** Modeling of Radio-wave Propagation in Forest by the Method of Parabolic Equation. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.23) (2018) pp. 111–113.
4. **M.S. Mikhailov, E.S. Malevich, V.A. Permyakov.** Evaluation of the Impact of Deforestation on the Radio Wave Propagation Near the Large Antenna System in the Calculation of Sanitary Protection Zones. Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS — Toyama), Japan, 1–4 August, 2018.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ПАТЧ-АНТЕННЫ

В современных устройствах с применением СВЧ антенн часто применяется патч-антенна. Патч-антенна — тип слабонаправленной антенны диапазонов УВЧ и СВЧ, состоящая из металлической пластины, расположенной параллельно плоскому металлическому экрану. Расстояние между пластиной и экраном может быть заполнено слоем диэлектрика [1].

Питание осуществляется штырем либо микрополосковой линией. С помощью электродинамического способа возбуждение может осуществляться через щель в экране. Поляризация излучаемой электромагнитной волны в направлении нормали к пластине может быть как линейной, так и круговой. Самая простая патч-антенна узкополосная, но некоторые технические приемы позволяют расширить рабочую полосу частот.

Широкополосная антенна — это антенна, у которой отношение максимальной рабочей частоты к минимальной не менее 1,1:1. Для увеличения полосы рабочих частот существует множество методов. В данной работе выбран многослойный метод, который заключается в разнесении излучателей и помещении между ними диэлектрического материала, схожего по диэлектрическим характеристикам с воздухом [2].

В данной работе производится моделирование широкополосной патч — антенны в программе электродинамического моделирования CST. Размеры антенны, при которых обеспечивается работа в Ку-диапазоне частот, достигались путем параметризации и выбором оптимальных значений.

Данная патч-антенна может быть использована в качестве излучателя антенной решетке для решения множества радиолокационных задач.

Литература

1. **Сазонов Д.М.** Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1988.
2. **Панченко Б.А., Нефёдов Е.И.** Микрополосковые антенны. — М.: Радио и связь. 1986.
3. **Алексейчик Л.В., Курушин А.А.** Комплексное моделирование в программе CST SUITE. — М.: ООО «Сам Полиграфист», 2021.

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

РАСЧЕТ ФАЗ ВОЛНЫ НА ЭЛЕМЕНТАХ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Антенная решетка — устройство, содержащее совокупность излучающих элементов, расположенных в определенном порядке, ориентированных и возбуждаемых так, чтобы получить заданную диаграмму направленности. Если в процессе работы антенной решетки производится управление комплексными амплитудами возбуждения излучателей для изменения ее характеристик излучения или приема, то такая антенная решетка называется фазированной антенной решеткой (ФАР).

Основным отличием ФАР от антенн других типов является возможность управлять положением главного лепестка в пространстве электрическим методом, то есть изменять амплитудно-фазовое распределение токов запитки элементов решетки.

Одним из методов управления положения главного лепестка является фазовый метод. В тракт питания каждого элемента включается регулируемый фазовращатель, с помощью которого получают требуемый закон распределения фазы для обеспечения сканирования, при этом амплитуда остается неизменной.

Для первичной оценки работоспособности ФАР проводится моделирование ее работы. В настоящее время в существующих системах автоматизированного проектирования (САПР) СВЧ структур не реализован метод автоматизированного расчета фаз волны на элементах решетки. Для этого необходимо использовать дополнительные программные пакеты, например, MATLAB.

Цель работы заключается в создании метода расчета фаз волны на каждом элементе ФАР и проверки корректности работы в САПР СВЧ. В качестве программ выбраны Microwave CST и MATLAB, так как компонентами CST можно напрямую управлять из среды MATLAB и добиться автоматизации процесса расчета.

Литература

1. **Вендик О.Г.** Антенны с немеханическим движением луча (Введение в теорию). М.: Советское радио, 1965.
2. **Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А., Рябов А.В., Головченко Е.В.** Антенны: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016.

С. Ю. Пашаев, асп.; рук. А. А. Комаров, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ

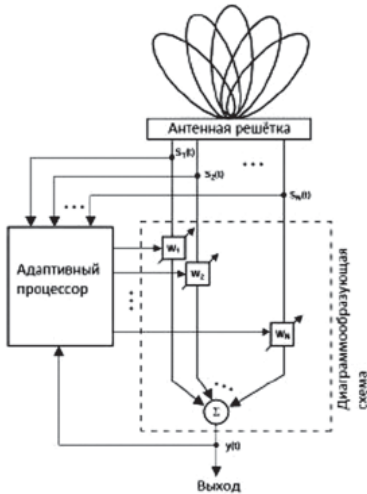


Рис. 1. Структурная схема адаптивной антенной решетки

С 1960-х годов активно исследуется адаптивные алгоритмы обработки сигналов в антенных решетках [1]. Под адаптивностью подразумевается способность АР изменять вид ДН в зависимости от помеховой обстановки. Например, если с некоторого направления приходит сильная помеха, то алгоритм управления антенной решеткой (АР) формирует ноль диаграммы направленности (ДН) в заданном направлении. Формирование нуля происходит за счет изменения амплитуд и фаз токов в элементах антенной решетки. На рис. 1 изображена обобщенная структурная схема n -элементной адаптивной антенной решетки [2]. Основными элементами адаптивной антенной решетки является диаграммообразующая схема и адаптивный процессор. Именно алгоритмы, заложенные в адаптивный процессор, позволяет АР подстраиваться под изменчивую помеховую обстановку.

Классическими алгоритмами адаптации является метод наименьших квадратов и методы на основе градиентного спуска [3].

В настоящее время все более широкое применение находят нейронные сети при обработке сигналов различного происхождения. С недавних пор проводятся исследования по возможности применения нейронных сетей в качестве адаптивных алгоритмов антенных решеток [4]. В данной работе представлены результаты анализа по возможности реализации алгоритмов адаптации АР на основе нейронных сетей, а также возможные дальнейшие пути развития.

Литература

1. **Widrow, P.E. Mandey, L.J. Griffiths, and B.B. Goode** "Adaptive antenna systems," Proc. IEEE, vol. 55, December 1967.
2. **Alan J. Fenn** — Adaptive antennas and phased arrays for radar and communications — Artech house (2008).
3. **F. Zardi, P. Nayeri, P. Rocca and R.3. Haupt,** "Artificial Intelligence for Adaptive and Reconfigurable Antenna Arrays: A Review," in IEEE, June 2021, doi: 10.1109/MAP.2020.3036097.

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

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРЕЖЕННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ МЕТОДОМ РОЯ ЧАСТИЦ

Проектирование антенных решеток, как правило, связано с оптимизацией тех или иных параметров антенны с целью получения требуемых характеристик, и важнейшим этапом оптимизации является выбор соответствующей целевой функции (ЦФ). Задача синтеза антенной решетки с заданной диаграммой направленности (ДН) формулируется в настоящей работе в виде оптимизационной задачи поиска глобального минимума многоэкстремальной ЦФ — суммарного «нарушения» рассчитанной ДН заданных границ. Неклассические методы глобальной оптимизации позволяют рассчитывать антенную решетку с нужными характеристиками ДН. Среди них метод роя частиц является одним из наиболее распространенных и эффективных. В процессе решения через заданное число итераций происходит передача данных по топологии «неоднородная решетка» или «разреженная решетка» с лучшими решениями в локальных роях, и выводится величина ошибки при решении ЦФ. С точки зрения оптимизации по координатам местоположения элементов разреженная решетка является неэквидистантной с кратным шагом, а аperiodическая — с произвольным (ограниченным минимально заданным межэлементным расстоянием). Среди эмпирических методов выбор сделан в пользу генетического алгоритма [1] с элементами метода роя частиц [2] для определения глобального экстремума по следующим причинам:

- Независимость алгоритма от области задачи. В данной работе задача представляет собой совокупность многих параметров, для которых необходимо найти оптимальные значения;
- Дискретность природы задачи. Так как исследуемая антенная решётка представляет собой неperiodическую структуру элементов, которые располагаются в узлах сетки;
- Непрерывность области значений целевой функции. В отличие от области поиска, критерии, описывающие потенциальные решения, являются величинами непрерывными.

Литература

1. **Свидетельство 2021619495 РФ.** Программа для синтеза конформных антенных решеток с использованием генетического алгоритма / М.А. Дубовицкий, М.С. Михайлов; ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»; заявл. 01.06.2021; опубл. 10.06.2021.
2. **Свидетельство 2021619595 РФ.** Программа для оптимизации размещения сложных объектов на двухмерной поверхности с использованием метода роя частиц / М.А. Дубовицкий; ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»; заявл. 01.06.2021; опубл. 15.06.2021.

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

ВЫБОР СТРУКТУРЫ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В КАЧЕСТВЕ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА

На примере структуры многоэлементного радиointерферометра VLA (Very Large Array) можно рассмотреть две главные задачи синтеза протяженной плоской антенной решетки: определение количества элементов и размер их апертуры. Пути решения зависят от астрономических задач, которые могут стоять перед конкретным прототипом радиointерферометра. Но один из основных критериев — это наиболее эффективное расположение элементов в плоскости. Каждый элемент интерферометра или пара антенн, в заданный момент времени в определенной точке плоскости создают поле определенной интенсивности, зависящее от длины волны и амплитудно-фазового распределения.

Вопрос оптимизации геометрии расстановки множества антенных элементов в составе радиointерферометра в теоретическом смысле в настоящее время полностью не решен. При этом возникает необходимость повысить разрешающую способность по угловым координатам без увеличения размеров эффективной площади и, в тоже время, исключить появление побочных максимумов диаграммы направленности антенны, а радиointерферометр с малой базой строится по принципу незаполненной апертуры. Система по угловому разрешению соответствует радиолокатору, охватывающему площадь, на которой размещены антенны [1]. В некоторых системах антенны могут перемещаться в пределах определенной площади. Для решения задачи оптимизации геометрии расстановки множества антенных элементов в составе многопозиционной радиолокационной станции необходимо провести большой объем расчетов на ЭВМ по методу имитационного моделирования [2].

Литература

1. **Куприянов Н.А., Дубовицкий М.А., Куракин С.З., Стуков К.А.**, “Основные этапы разработки модели приёмной антенны загоризонтного радиолокатора”, В книге: Технологии получения и обработки информации о динамических объектах и системах. сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 132–134.
2. **М.А. Dubovitskiy and M.S. Mikhailov**, “Estimation of Aperture Antennas Near-Field with Mutual Coupling Consideration,” 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2021, pp. 1–5.

Н.А. Якушкин, студ.; рук. Б.Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КИНБЕРА ДЛЯ СИНТЕЗА НЕСИММЕТРИЧНОГО ЛУЧЕВОДА, ОБЛУЧАЮЩЕГО ОСЕСИММЕТРИЧНУЮ ПАРАБОЛИЧЕСКУЮ ЗЕРКАЛЬНУЮ АНТЕННУ

В работе [1] разработана методика синтеза несимметричного лучевода, облучающего осесимметричную параболическую зеркальную антенну. Описанный метод основывается на итерационной процедуре подбора поверхности одного из зеркал лучевода. При этом поверхность другого зеркала полностью определяется первым из принципов геометрической оптики. Для расчета излучающих характеристик лучевода также используется метод геометрической оптики.

В [2] Б.Е. Кинбер описал “однопараметрический” метод синтеза двухзеркальной антенны, позволяющий свести задачу синтеза к решению дифференциального уравнения в частных производных первого порядка вида

$$F(\varphi, \theta, r, p, q) = 0,$$

где p, q — частные производные функции $r(\varphi, \theta)$ по θ и φ соответственно.

Однако данный метод до сих пор не нашёл практического применения.

В настоящей работе рассмотрено применение предложенного Б.Е. Кинбером метода синтеза двухзеркальной антенны для расчета поверхностей зеркал несимметричного лучевода, облучающего осесимметричную параболическую зеркальную антенну.

Также, рассмотрено применение метода физической оптики для расчета излучающих характеристик лучевода.

Литература

1. **Якушкин Н.А., Коган Б.Л.** Метод проектирования несимметричного лучевода, облучающего осесимметричную параболическую зеркальную антенну // Тезисы докладов XXVII МНТК студентов и аспирантов. 11–12 марта 2021 г. — М.: МЭИ. — С. 54.
2. **Кинбер Б.Е.** Обратные задачи теории зеркальных антенн — приближение геометрической оптики. — Препринт ИРЭ № 38 (410), М., 1984.

*Н.В. Бахолдин, студ.; рук-ли М.С. Михайлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
А.К. Сарычев, д.ф.-м.н., гл.н.с. (ИТПЭ РАН, Москва);
А.В. Иванов, к.ф.-м.н., с.н.с. (ИТПЭ РАН, Москва),
И.В. Быков, с.н.с. (ИТПЭ РАН, Москва)*

ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМОННЫХ НАНОАНТЕНН ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

Частотно-селективная поверхность (ЧСС) представляет собой периодическую структуру, состоящую из идентичных элементов, расположенных в одномерном или двумерном массиве. Она проектируется для отражения, передачи или поглощения электромагнитных полей с частотой падающего поля [1]. Сочетание отражающей ЧСС со спектроскопией гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) дает возможность проводить исследования, направленные на детектирование малых концентраций биологических и химических веществ [2, 3].

В работе проведены исследования зависимости интенсивности сигнала химического вещества от параметров ЧСС. Показано, что изменение расстояния между элементами возбуждает локальный резонанс электромагнитного поля, что позволяет получить большое усиление поверхностного электрического поля и сигнала ГКР. Эффективность данной структуры была экспериментально подтверждена путем детектирования малых концентрация 4-меркаптофенилбороновой кислоты (4-м ФБК) с фактором усиления 10^5 – 10^6 .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-21-00080.

Литература

1. **А.К. Сарычев, В.М. Шалаев** «Электродинамика метаматериалов», 224 с. 2011. ISBN: 978-5-91522-226-6
2. **Бахолдин Н.В., Михайлов М.С., Сарычев А.К.** Исследование спектра комбинационного рассеяния воды с использованием плазмонных наноантенн // Тезисы докладов XXVII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». 11–12 марта 2021. С. 56.
3. **Пермяков В.А., Михайлов М.С.** Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью // Радиотехника. — 2013. — № 10. — С. 83–88.

Секция 5
РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ
Radarlocation and TV technologies

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

Секретарь секции: Юмашев Александр Михайлович

Е.Р. Мухина, студ.; рук. А.А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Современные космические исследования показывают, что на околоземных орбитах скапливается большое количество космического мусора, который образуется из отработанных фрагментов ракетно-космической техники [1].

Неконтролируемое увеличение космического мусора на околоземной орбите создает угрозу современной человеческой цивилизации — применению спутниковых технологий в повседневной жизни. С помощью космических аппаратов работает телевидение, спутниковая телефония, обеспечивается навигация транспорта и безопасность мореплавания, ведется мониторинг погоды и предупреждения катастроф.

Общая научно-техническая задача состоит в том, чтобы обеспечить безопасность космических полетов по загрязненному околоземному космосу.

Целью данной работы является разработка тестовой модели программного продукта, позволяющего выполнять распознавание объектов космического мусора с помощью применения машинного обучения для предотвращения столкновений орбитальных объектов, а также проведение тестирования разработанной модели по базам данных содержащих информацию об объектах космического мусора.

Литература

1. **Шустов Б.М.** О фундаментальных исследованиях по проблеме космического мусора // Всероссийская научная конференция «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы»: сборник трудов. Серия «Механика, управление и информатика». М.: ИКИ РАН, 2019. С. 7–14. doi:10.21046/spacedebris2019-7-14.
2. **Jiangbo Xi** at al. Space debris detection in optical image sequences // Appl. Opt. 55, 7929-7940 (2016) <https://doi.org/10.1364/AO.55.007929>
3. **Маккини У.** Python и анализ данных / пер. с англ. А.А. Слинкина. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 540 с.: ил.

С.Д.Михель, студ.; рук. А.А.Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОЦЕНКИ ПОЛНОГО ВЕКТОРА СКОРОСТИ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ БОРТОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ

Самолетные радиолокационные станции (РЛС) обзора земной поверхности обеспечивают решение ряда важнейших задач современной военной и гражданской авиации. РЛС с синтезированной апертурой антенны (РСА) — способ, который позволяет получить радиолокационное изображение (РЛИ) поверхности земли и расположенных на ней объектов вне зависимости от освещенности местности или метеорологических условий. Если неподвижные объекты на РЛИ имеют высокое разрешение и отображаются четко, то движущиеся объекты отображаются с ошибками. Для максимально возможного устранения этих ошибок необходимо найти движущийся объект и вычислить его скорость. Цель доклада — обзор возможностей и затруднений обнаружения РСА движущихся целей.

Дальнейшие перспективы возможны в следующих направлениях:

- Повышение точности и скорости выполнения алгоритмов;
- Распространение алгоритма на малые и медленно движущиеся цели, на объекты с низким контрастом;
- Определение дальнейшей траектории движения объекта.

Литература

1. **Г.С. Кондратенков.** Радиолокационные станции воздушной разведки. — М.: Воениздат, 1983. — 152 с., ил.
2. **Антипов В.Н.** Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры. — М.: Радио и связь, 1988. — 304 с.
3. **Аковецкий В.И.** Нефотографическая аэросъемка: Итоги науки и техники. (Геодезия и аэродинамика). — М., 1977, т. 12.

В.О. Котолян, студ.; рук. А.М. Юмашев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА С МНОГОКАСКАДНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ НА ПЛИС

В настоящее время цифровая фильтрация является весьма распространённой в задачах, связанных с цифровой обработкой в системах связи [1]. В данном докладе освещается реализация цифрового фильтра низких частот (ФНЧ) с многокаскадной архитектурой.

Представлено теоретическое описание цифровых многокаскадных фильтров, содержащих относительно широкополосный фильтр малого порядка, блок передискретизации и узкополосный фильтр малого порядка. Рассмотрены способы их расчета, описаны методы, по которым можно определить импульсные коэффициенты фильтра.

В данном докладе приводятся:

- 1) Расчет широкополосного фильтра с произвольной АЧХ и линейной ФЧХ малого порядка.
- 2) Расчёт блока передискретизации и выбор его параметров.
- 3) Расчет узкополосного фильтра малого порядка.
- 4) Расчёт фильтров Хогенауэра.

В ходе работы сделано следующее.

- Проведён расчёт фильтров в пакете Matlab.
- Проведено сравнение изначального метода и метода Хогенауэра.
- Приведены примеры их использования.
- Рассмотрены способы коррекции итоговой АЧХ с помощью дополнительного КИХ-фильтра.
- Проведена оценка затрачиваемых вычислительных ресурсов.
- Рассмотрена возможность реализации полосового фильтра на основе рассчитанного фильтра ФНЧ.
- С помощью встроенной функции в интерфейс fdatool, был сгенерирован HDL код для последующей реализации на ПЛИС [3].
- В САПР Quartus II проведено моделирование работы фильтра, реализованного на ПЛИС с помощью IP-ядер Intel.

Литература

1. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов (ЦОС). — ЗАО ПИТЕР 2007.
2. <https://www.intel.com>
3. <https://docs.exponenta.ru>

Д.Д. Лаврентьев, студ.; рук. А.М. Юмашев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯТОРА OFDM СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПЛИС

На сегодняшний день в системах передачи информации и цифрового ТВ-вещания самым распространенным способом модуляции является OFDM модуляция [1].

Целью работы является моделирование блока БПФ на ПЛИС для использования в схеме цифрового OFDM модулятора и проверка его работоспособности. Моделирование квадратурного модулятора, являющегося высокочастотной частью OFDM модулятора.

В работе рассматриваются теоретические представления о быстром преобразовании Фурье (БПФ), возможность использования БПФ в OFDM модуляции и теоретическое описание квадратурной модуляции.

Математическое моделирование БПФ и квадратурного модулятора проводится в пакете «Matlab». Рассматривается практическая реализация БПФ с использованием САПР «Quartus» и встроенных программных ядер.

В докладе:

- рассмотрен теоретический материал о БПФ.
- подробно описан алгоритм OFDM модуляции с использованием БПФ и квадратурной модуляции.
- проведён расчёт фильтров, используемых в квадратурных каналах модулятора.
- проведено моделирование работы OFDM модулятора в пакете Matlab.
- приведён синтез блока БПФ в программе «Quartus IP Fast Fourier Transform» для проектируемого модулятора.
- проведено моделирование работы блока БПФ в программе ModelSim.

Литература

1. **Серов А.В.** Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H. Санкт-Петербург, БВХ-Петербург, 2010.
2. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов (ЦОС). Санкт-Петербург, ЗАО ПИТЕР, 2007.
3. www.intel.com

Секция 6
КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
Quantum electronics

Председатель секции: д.т.н., доцент Скорнякова Надежда Михайловна

Секретарь секции: Сычёв Дмитрий Геннадьевич

*Г.Д. Кривоклякин, студ.;
рук. О.В. Печинская, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАБОЧЕГО ОТРЕЗКА ФОТОПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МИКРОСКОПА

При создании широкопольных оптико-электронных модулей особенно важными становятся вопросы точности стыковки объектива с фотоприёмным устройством (ФПУ).

В ходе проведения сборочных работ совмещение плоскости изображения объектива с плоскостью матрицы обеспечивается установкой подрезного кольца, которое, при необходимости, выполняется клиновидным. Для расчёта толщины и угла клиновидности кольца на специализированном рабочем месте измеряют ряд величин: 1) рабочий отрезок объектива при номинальном положении фокусирующего устройства по стандартной методике [1]; 2) рабочий отрезок камеры [2] и наклон плоскости матрицы относительно посадочного фланца ФПУ.

Поскольку проводятся измерения малых величин на больших базах, ключевую роль играет точность проводимых измерений. В настоящей работе оценивается точность измерения рабочего отрезка ФПУ. Проведены экспериментальные исследования точности измерений с помощью горизонтального микроскопа, оснащённого оптическими линейками; выявлено, что абсолютная погрешность составляет 0,057 мм и превышает допустимую погрешность согласования плоскости изображения с плоскостью матрицы [2].

В дальнейшем будет предложена альтернативная методика измерений рабочего отрезка ФПУ на основе лазерного триангуляционного датчика. Также планируется провести экспериментальные исследования точности измерения лазерным триангуляционным датчиком. Полученный в работе результат важен и для других измерений, так как горизонтальный микроскоп также используется в других измерительных схемах.

Литература

1. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. ГОСТ 13096-82. Объективы. Методы измерения рабочего и заднего отрезков [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015644> (дата обращения: 02.11.2021).
2. **Козерук А.С.** Сборка и юстировка оптических приборов: конспект лекций для студентов специальности «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» / А.С. Козерук. — Минск: БНТУ, 2015. — 96 с.

А.А. Прозоровская, студ.;
рук. О.В. Печинская, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОРРЕКЦИЯ АБЕРРАЦИЙ ОБЪЕКТИВА ПИРОМЕТРА СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ

В работе описан результат оптимизации двухлинзового объектива пирометра спектрального отношения, а также представлены разработанные объективы с коррекцией аббераций, выполненные в САПР Zemax. Объектив предназначен для работы в составе приемной оптической системы пирометра спектрального отношения [1].

Исследование исходного двухлинзового объектива показало, что оптическая система обладает сферической абберацией и хроматизмом положения. Данный факт ограничивает долю энергии в кружке рассеяния, а также увеличивает СКЗ кружка рассеяния. Так как в макете пирометра спектрального отношения используется оптическое волокно с диаметром сердцевинки 50 мкм, необходимо уменьшить кружок рассеяния до приемлемых размеров, а также поднять долю энергии в кружке, чтобы большая часть излучения попадала в волоконный световод. В качестве опорного значения служит доля энергии в кружке рассеяния радиусом 25 мкм, что соответствует размеру сердцевинки волоконного световода. Также желательно провести ахроматизацию объектива для трех длин волн: 0,98 мкм, 1,35 мкм и 1,48 мкм. В качестве основной длины волны принято значение 1,35 мкм.

В ходе работы были получены конструктивные параметры объективов, обеспечивающих лучшие показатели, чем исходный. Синтезированные объективы обладают приемлемым уровнем ахроматизации, а также уменьшенными кружками рассеяния. Доли энергии в кружке радиусом 25 мкм превосходят более чем в 2 раза долю энергии, даваемую исходным объективом.

Таблица 1. Полученные результаты для объективов

| Тип объектива | Три рабочие длины волны (0,98; 1,35; 1,48 мкм) | | | |
|-----------------|--|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| | Оптическая длина объектива, мм | Фокусное расстояние, мм | СКЗ радиуса кружка рассеяния, мкм | Доля энергии в кружке, % |
| Двухлинзовый | 71,10 | 93,24 | 112,63 | 15,65 |
| Трехлинзовый | 89,48 | 79,82 | 55,23 | 27,07 |
| Четырехлинзовый | 89,51 | 93,17 | 44,97 | 53,64 |

Литература

1. Поройков А.Ю., Фланден В.С., Лапицкий К.М. Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения // ПТЭ. 2019. № 1. С. 110–116.

Г.А. Юрочкин, студ.; рук. Д.Г. Сычёв, ст. преп (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗВУКОВЫХ ВОЛН, А ТАКЖЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

Виброметры уже давно используются как в производственных, так и в исследовательских процессах при наличии какого-либо объекта, подверженного механическим вибрациям. Оптические виброметры пользуются наибольшей популярностью, поскольку они относятся к методикам бесконтактного контроля и обладают высокими показателями точности и быстродействия. Однако расшифровка сигнала виброметра является весьма трудоемкой задачей, поэтому совершенно логичными кажутся попытки поиска способов для упрощения данного процесса.

В ходе работы была сконструирована установка, состоящая из обычного полупроводникового лазера и динамиков с прикрепленными к ним зеркалами. Зеркала способны совершать колебания на той же частоте, что и динамики при воспроизведении звуков. Динамики и лазер располагаются под определенными углами друг к другу. Излучение лазера попадает на зеркала. При запуске установки происходит визуализация пульсаций динамика при помощи лазерного излучения. В результате при равномерном увеличении частоты в пределах допустимых частот работы динамиков получается вращающийся эллипс.

Если динамики рассинхронизированы (то есть на них подается разный сигнал), то в результате визуализации получаются различные изображения в виде “восьмерок”. Если же ритм музыки (звука) не меняется и ее мотив повторяется, то при визуализации получаются равномерно вращающиеся изображения (к примеру, равномерно вращающийся треугольник).

Данное устройство в дальнейшем может пригодиться как в развлекательных, так и в научных целях. К примеру, его можно использовать в курсе лабораторных работ для ознакомления с явлениями виброметрии. Помимо этого, в будущем данный прибор можно усовершенствовать и на его основе создать виброметр или более сложные устройства.

Литература

1. **А.Л. Дмитриев.** Оптические методы обработки информации / Учебное пособие. — СПб: СПбГУИТМО, 2005. — 46 с.
2. Лазерные виброметры [Электронный ресурс]: <https://xn--80akfo2a.xn--p1ai/2017/03/21/2932/>

К.А. Барбышев, студ.; рук. О.В. Печинская, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИРОМЕТРА СПЕКТРАЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ С АКУСТООПТИЧЕСКИМ ФИЛЬТРОМ

В современном мире высокотемпературная термография применяется во многих отраслях промышленности, в частности в области аэрокосмического двигателестроения при огневых испытаниях. В данной работе рассматривается модель пирометра спектрального отношения (ПСО), предназначенного для измерения температуры пламени авиационного двигателя в диапазоне 1000–2500 К [1]. Моделирование выполнено для трех длин волн: 0,98 мкм; 1,38 мкм; 1,48 мкм.

Была разработана оптическая система ПСО, в которой в качестве спектроредительного блока используется акустооптический фильтр (АОФ) производства НТЦ УП РАН. Данный фильтр изготовлен из кристалла TeO_2 , закрепленного на металлическом основании, что представляет собой корпус АОФ. Внутри кристалла создается объемная дифракционная решетка с помощью ультразвуковой волны, формируемой акустическим излучателем, присоединенным к кристаллу. На этой решетке происходит анизотропная дифракция проходящего оптического излучения. Перестройка АОФ по спектру осуществляется путем изменения периода решетки, определяемого частотой высокочастотного электрического сигнала (порядка десятков МГц), который подается на акустический излучатель.

Использование данного АОФ обусловлено следующими достоинствами: малое время перестройки (~20 мкс), узкая полоса пропускания (4,5 нм на 1060 нм), высокое спектральное разрешение (25 нм на 1060 нм). Из недостатков схемы можно отметить малую мощность излучения на выходе, несмотря на то что коэффициент пропускания оптической системы с АОФ в несколько раз больше чем у системы со спектроредительным блоком на основе светоделительных пластин и интерференционных фильтров (50% против 10%). Однако данный минус нивелируется использованием в электрической схеме пирометра усилителей сигналов.

В дальнейшем планируется создание макета пирометра спектрального отношения с акустооптическим фильтром и экспериментальные исследования его характеристик.

Литература

1. **Поройков А.Ю., Фланден В.С., Лапицкий К.М.** Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 1. с. 110–116.

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

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Достоинством оптических методов является получение результатов с большой площади поверхности одновременно, что позволяет получить качественно лучшие результаты во время проведения испытаний. Это обуславливает актуальность данной разработки.

Целью данной работы является разработка цифровой видеокамеры для машинного зрения. Основными элементами разрабатываемого устройства являются: модуль системы питания цифровой видеокамеры, которая предназначена для преобразования величины входного напряжения от внешнего источника питания до требуемых уровней для всех компонент электронного устройства; модуль светочувствительной матрицы предназначенный для приема излучения; логический модуль, предназначенный для хранения и обработки изображений полученных с матрицы; модуль связи, предназначенный для соединения видеокамеры с персональным компьютером.

Для каждого из модулей были разработаны электрические принципиальные схемы и топологии печатных плат. Всего было разработано четыре платы размерами 50×50 мм. В качестве матрицы была выбрана CMOS-матрица AR0134CS, так как она оказалась лучшей среди рассматриваемых по соотношению цена/качество. Логический модуль разработан на базе ПЛИС Intel Cyclone IV. В разработанном варианте камеры данные модули расположены вертикально один над другим и представляют собой каскадную структуру, соединенную разъемом FFC/FPC.

В докладе будут представлены принципиальные электрические схемы и топологии печатных плат каждого из модулей, а также 3D-модель видеокамеры.

«Работа выполнена в рамках проекта «Разработка фотограмметрической системы измерения формы поверхности для условий повышенных вибрационных нагрузок» 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 2020–2022 гг.»

Литература

1. **Поройков А.Ю., Лебедев С.В.** Основы проектирования электронных устройств для задач оптики / А.Ю. Поройков, С.В. Лебедев — М.: Издательство МЭИ, 2017. — 40 с.; ил.

М.К. Исаев, студ.; рук. Н.М. Скорнякова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕНЕВОЙ ФОНОВЫЙ МЕТОД В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

При исследовании потоков часто для наглядности процесса прибегают к методам визуализации [1]. Теневой фоновый метод является одним из этих методов. Данный метод бесконтактный, прост в установке, обладает неограниченным полем обзора, а также высокой точностью [2]. ТФМ используется при исследованиях в аэродинамике и гидродинамике.

Конечной целью данной работы является разработка методики использования ТФМ для выполнения измерений характеристик затопленных течений. Ранее было доказано, что на основе визуализационных картин теневого фонового метода можно получить распределения температуры в потоке затопленной струи воды. На данном этапе был проведён эксперимент с разными режимами подсветки, а затем эксперимент с синей подсветкой фонового экрана с разной температурой потока.

Эксперимент заключался в видеорегистрации процесса распространения затопленной струи воды с разными режимами подсветки и с разной температурой потока при синей подсветке экрана. Полученные в ходе эксперимента изображения обрабатывались в программе PivView. Затем при помощи программного обеспечения MathCad был произведён расчёт хода лучей через данную оптическую неоднородность, получена формула для результирующего смещения в зависимости от температуры. Подставляя в формулу смещения, полученные экспериментально из картин визуализации, с помощью встроенных функций программы MathCad получали температуру.

Таким образом, можно заключить, что рассмотренная в работе модель является допустимой, как минимум, для определения термодинамических характеристик осесимметричных затопленных потоков с аналогичным окружающей их среде химическим составом. Далее предполагается усовершенствование данной модели с учетом влияния дисперсии, проведение экспериментов с впрыском различных жидкостей отличных по химическому составу от окружающей поток жидкости, а также учет этого фактора в модели неоднородности.

Литература

1. **Шашкова И.А., Скорнякова Н.М.** Визуализация паров жидкости теньвым фоновым методом // Глобальный научный потенциал. 2014. № 12(45). С. 110–113.
2. **Теневой фоновый метод — оптический метод исследования ударных волн** Герасимов С.И. Трепалов Н.А. Журнал технической физики, 2017, том 87, вып. 12.

М.В. Цветков, студ.; рук. И.Н. Павлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ НА МЕТОД НПВО

Явление нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) известно достаточно давно и на нем основываются довольно чувствительные методы измерения показателей преломления. За счёт использования широкого коллимирующего пучка метод НПВО позволяет определять распределение показателя преломления в тонком пограничном слое исследуемой среды.

Каждая длина волны при использовании сканирования жидкости и детекции ее на приемнике имеет разную спекл-структуру. В результате создаются разные по интенсивности пикселей изображения жидкости.

В рамках работы будет произведен эксперимент с несколькими разными источниками излучения для визуализации изображения и дальнейшей их обработки. Предполагается, что разная спекл-структура излучения разных длин волн, при наложении друг на друга будут складываться, что при обработке изображения будет давать более чувствительную зависимость коэффициента отражения от показателя преломления.

Литература

1. **Илларионова Е.А., И.П. Сыроватский.** Рефрактометрия теоретические основы метода практического применение метода, Иркутск, ИГМУ, 2013.
2. **Павлов, И.Н.** Лазерная визуализация потоков по нарушенному полному внутреннему отражению: вып. квал. работа бакалавра. М., МЭИ, 2004.

К.Э. Королёв, студ.; рук. И.Н. Павлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ОЧИСТКИ СТЕКЛЯННЫХ ПОДЛОЖЕК НА КРАЕВОЙ УГОЛ КАПЕЛЬ ВОДЫ

Рассмотрению процесса испарения капли жидкости, нанесённой на подложку из стекла посвящено немалое количество работ. Разработаны новые методики, с помощью которых проводится детальное описание процессов, происходящих на линии трёхфазного контакта при смачивании поверхности каплей жидкости. Однако остаётся актуальным вопрос выбора способа очистки стеклянной подложки, на которую наносится капля воды. Этому посвящена настоящая работа.

Важным измеряемым параметром в проводимых экспериментах является краевой угол смачивания капель. В работе [1] помимо рассмотрения способов очистки подложки описаны основные факторы, влияющие на краевой угол: режим нанесения капель, их объем, способ обработки поверхности подложки. Микронеоднородности поверхности оказывают влияние на величину краевого угла, который может служить информативным параметром при оценке поверхности подложки [2].

В настоящей работе измерения проводятся с использованием рефракционной методики, в основе которой лежит регистрация рефракционных изображений, полученных с помощью лазерного излучения, прошедшего через каплю дистиллированной воды, испаряющейся с горизонтальной подложки [3]. Методика позволяет на основе анализа полученных изображений восстанавливать характерные параметры глобального рельефа капли и микрорельефа в области контактной линии, измерять значения краевого угла и наблюдать динамику деформаций линии трёхфазного контакта при испарении.

Цель работы — определить влияние существующих и доступных способов очистки стеклянных подложек на краевой угол смачивания и степень очистки на основе анализа рефракционных картин.

Литература

1. **Молчанов, С.П.** Начальный краевой угол капель дисперсии и структура кольцевых осадков, формирующихся при капиллярной самосборке частиц / С.П. Молчанов, В.И. Роддугин, И.А. Чернова-Хараева // Коллоидный журнал. — 2015. — № 6. — С. 755–763.
2. **Павлов, И.Н.** Структура микрорельефа поверхности испаряющейся с шероховатой подложки капли как возможная причина гистерезиса краевого угла / И.Н. Павлов, И.Л. Расковская, А.В. Толкачёв // ЖЭТФ. — 2017. — № 4. — С. 670–681.
3. **Павлов, И.Н.** Рефракционный метод измерения скорости испарения капли жидкости в условиях пиннинга контактной линии / И.Н. Павлов, И.Л. Расковская, С.П. Юркевичус // Измерительная техника. — 2018. — № 6. — С. 52–55.

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОДОВЫХ МАРКЕРОВ В СРЕДЕ UNITY3D

Объектами исследования в данной работе являются кодовые маркеры (англ. fiducial markers). Они представляют собой набор визуальные, искусственные объекты, которые предназначены для их робастного обнаружения среди других объектов окружения с помощью цифровой камеры. Маркеры широко используются для определения с высокой точностью трехмерного положение камеры относительно маркера в системах технического зрения.

В работе представлена разработанная автором компьютерная модель маркера AprilTag [1] в виртуальной среде Unity3D. С помощью симуляции цифровой камеры были получены изображения с кодовыми маркерами при различных их положениях. Изображения были обработаны с помощью библиотеки OpenCVSharp, которая является оберткой над библиотекой компьютерного зрения OpenCV для фреймворка .NET. Результатом обработки является массив данных, в котором содержится координаты положения центра каждого кодового маркера, который был распознан на исходном изображении, в системе координат камеры, а также матрица поворота. Сопоставление положений маркеров, полученных с помощью обработки, с положениями заданными в симуляции позволяет оценить погрешность алгоритма их нахождения.

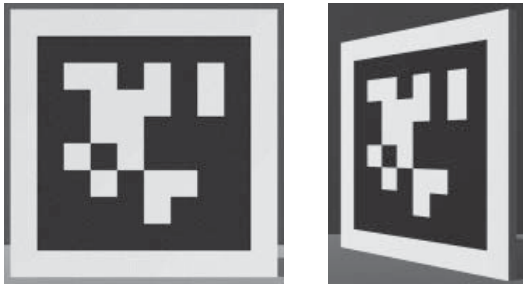


Рис. 1. Изображения компьютерной модели маркера AprilTag, полученные с помощью виртуальной камеры в Unity3D

Литература

1. **Olson E.** AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system // 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011. Pp. 3400–3407.

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

*С.А. Серов, студ., Малышев А.П., студ., Чугунов А.А., асп.,
Н.И. Петухов, асп.; рук. А.А. Комаров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Локальные навигационные системы (ЛНС) являются весьма перспективными в современном мире. Особый интерес представляют ЛНС на сверхширокополосных сигналах (СШП). Они, в силу особенностей СШП 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). Рассматриваются реализации меток ЛНС, существующие в данный момент (пример печатной платы одного из вариантов ЛНС приведён на рисунке 1), преимущества и недостатки таких устройств. Предложена схема реализации метки для локальной навигации в новом форм-факторе. Проанализирована работа с периферийными устройствами для различных конфигураций аппаратных блоков.

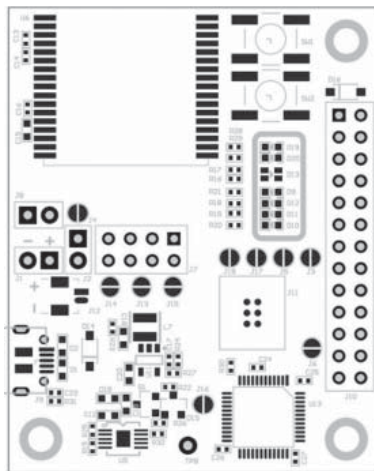


Рис. 1. Пример реализации метки ЛНС

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.

*Н.И. Петухов, В.Д. Семенов, асп.; А.П. Малышев, студ.;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ УГЛОМЕРНО- ДАЛЬНОМЕРНОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА

Последнее время наблюдается повышенный интерес к системам позиционирования внутри помещений как со стороны научно-исследовательских коллективов, так и со стороны промышленности из-за высокого коммерческого потенциала и научной значимости [1, 2].

Среди множества технологий, на базе которых строят системы позиционирования внутри помещений, по ряду причин выделяют радиосистемы [1, 2]. Главным недостатком таких систем можно назвать ухудшение точности из-за многолучевого распространения сигналов в результате переотражений от различных препятствий в рабочей зоне (потолка, пола, стен и т.д.). Однако существуют сверхширокополосные (СШП) радиосистемы, в которых эффект многолучевости влияет на измерения в меньшей степени за счет сверхкороткой длительности импульсов сигналов, используемых в этих системах.

Для обеспечения повышенной точности и надежности координатного обеспечения авторами данной работы были синтезированы алгоритм пешеходного счисления пути на базе инерциальных измерений и комплексный фильтр Калмана, совместно обрабатывающий оценки первого алгоритма и измерения дальности от опорного радиомодуля до потребителя и пеленга на него. Синтезированные алгоритмы были апробированы на реальной угломерно-дальномерной СШП радионавигационной системе. Для нахождения количественной оценки эффективности предложенного подхода были проведены эксперименты, в ходе которых были получены оценки погрешности.

Литература

1. **F. Zafari, A. Gkelias and K.K. Leung**, “A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2568–2599, thirdquarter 2019.
2. **K. Liu, G. Motta and T. Ma**, “Navigation Services for Indoor and Outdoor User Mobility: An Overview,” 2016 9th International Conference on Service Science (ICSS), 2016, pp. 74–81.

*Н.В. Масалкова, студ.; Н.И. Петухов, асп.;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ МАЯКОВ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ

Чтобы эффективно решить задачу навигации внутри помещения на практике часто применяются позиционные локальные навигационные системы (ЛНС). Для таких систем характерна флуктуационная погрешность, которая существенно зависит от числа наблюдаемых навигационных опорных точек (ОТ), от их расположения относительно потребителя, и которая определяется скалярным параметром — геометрическим фактором (ГФ).

В настоящей статье ставится задача оптимизации размещения радионавигационных маяков внутри помещения по критерию минимума геометрического фактора, усреднённого по пространству рабочей зоны.

Данная работа основывается на статье [1], где ставилась аналогичная задача и где приводится генетический алгоритм, разработанный в среде Matlab. Новизна настоящей статьи в автоматизации генетического алгоритма путём адаптации известных библиотек на языке программирования Python. Использован механизм естественного отбора, на каждой итерации применяется метод случайного преобразования векторов — перекрестное скрещивание (кроссинговер) и метод мутации, который реализован следующим образом — выбирается случайно выбранная координата ОТ не в пределах всей рабочей зоны, а в пределах участка некоего радиуса, который в процессе работы алгоритма изменяется.

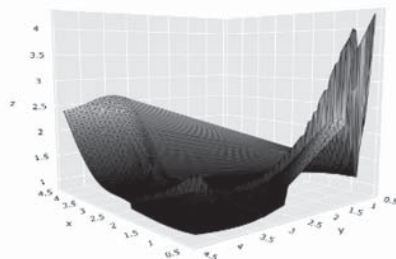
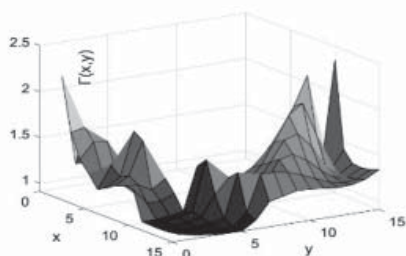


Рис. 1. Слева результат работы генетического алгоритма ГФ статьи [1], справа настоящей статьи

Литература

1. Петухов Н.И., Царегородцев Д.В., Куликов Р.С., Малышев А.П. Применение генетического алгоритма для определения мест размещения опорных точек локальной навигационной системы и минимизации их числа // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 9. С. 27–40.

*А.А. Шрамов, студ.; Г.Р. Мутасов, студ.; В.Д. Семёнов, асп.;
рук. Р.С. Куликов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В ПОМЕЩЕНИИ ПУТЁМ ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА, ОТРАЖЁННОГО ОТ ГРАНИЦ ПОМЕЩЕНИЯ

Использование спутниковых систем навигации неэффективно для определения местоположения объектов внутри помещений, так как в помещениях нет покрытия радионавигационным полем, либо оно крайне низкого качества. Таким образом внутри ограниченных пространств традиционным становится применение систем позиционирования с использованием сверхширокополосных (СШП) сигналов.

На сегодняшний день проведена работа с ультразвуковым зрением на базе нейросети для навигации роботов среди препятствий [1]. Стоит задача провести аналогичный эксперимент на базе радиотехнического устройства с применением искусственной нейронной сети (ИНС).

Цель работы — реализация способа локальной навигации внутри помещения путём передачи и приёма СШП сигналов с их последующей обработкой в ИНС.

Для реализации создаётся аппаратная установка из передатчика MDEK Development Kit на основе модуля DWM1001 и приёмника, имеющего две антенны, синхронизированные от общего опорного генератора. В качестве источника информации будут служить I/Q компоненты на выходе коррелятора, получаемые с буфера накопительной памяти. Он используется для хранения оценки импульсной характеристики сигнала. В качестве эталонных значений для ИНС будут использоваться показания, подготовленные на фазе сбора данных в контрольных точках помещения.

Прежде чем ИНС станет решать прикладную задачу, она должна пройти стадию обучения, в процессе которой формируется конечная весовая матрица НС, позволяющая эффективно решать прикладную задачу. Итоговым результатом передачи и приёма сигналов и обучения ИНС становится информация о местоположении объекта в закрытом помещении.

Литература

1. **R. Kulikov, N. Masalkova, O. Glukov, A. Chugunov and V. Semenov**, “An Ultrasonic Vision based on a Neural Network for Navigating Robots Through Obstacles”, 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2021, pp. 1–5, doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9387993

*Р.Р. Раупов, студ.; рук. В.В. Афанасьев, д.т.н., проф.
(КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ПРЯМОХАОТИЧЕСКИХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ СХЕМЫ JERK

В системах цифровой передачи для маскировки передаваемой информации целесообразно использовать в качестве носителей псевдослучайные сигналы. Эффективно построение формирователей псевдослучайных сигналов на основе многолепестковых систем. Однако применение многолепестковых систем в прямохаотических системах цифровой передачи информации изучено слабо. Поэтому в данной работе проведено моделирование прямохаотической системы передачи информации на основе многолепестковой системы.

Цель работы — исследование особенностей моделирования конфиденциальной прямохаотической системы передачи информации, построенной на основе многолепестковой системы по схеме Jerk.

В программной среде Matlab исследовано преобразование сигналов в модуляторе, перемножителе и интеграторе прямохаотической системы передачи информации с РРМ модуляцией. В качестве формирователя псевдослучайных сигналов использована многолепестковая система по схеме Jerk [1], численное решение которой проводилось методом Рунге-Кутты с величиной относительного шага временной дискретизации, нормированного к периоду квазирезонансных колебаний, варьируемой в диапазоне 0.05...0.5. Полученные характерные реализации выходных сигналов блоков системы представлены на рис.1.

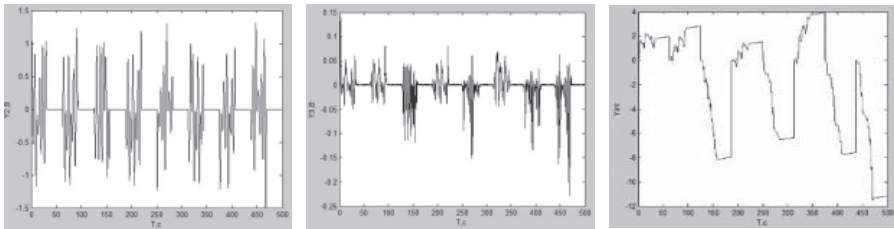


Рис. 1. Характерные графики временных реализаций сигналов после прохождения блоков модулятора, перемножителя и интегратора

Обоснованы рекомендации по выбору базового параметра a многолепестковой системы по схеме Jerk в диапазоне $0,3 \leq a \leq 1,1$, для обеспечения эффективного функционирования прямохаотической системы.

Литература

1. **L. Chunxia, Y. Jie, A. Limin, Q. Yan.** Research on the multi-scroll chaos generation based on Jerk Mode // *Procedia Engineering* 29, 2012. — p. 957–961.

Г.Р. Мутасов, студ.; рук. И.В. Корогодин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ РЕСУРСОЕМКОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ И ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ

Нейросетевые методы приобрели значительную популярность в последнее десятилетие. Предпринимались попытки использовать их в цифровой обработке сигналов и статистической радиотехнике [1]. Ожидается, что расход ресурсов в задачах сигнальной обработки для нейросети выше, чем для оптимальных решений.

Цель работы — сравнительный анализ ресурсоемкости нейросетевых методов и оптимальных решений при схожих статистических характеристиках в задачах обработки сигналов.

В работе выполнено обучение нейронной сети на базовых задачах радиотехники с варьированием размера сети. В частности, была проведено сравнение на примере задачи обнаружения известного сигнала. Размер варьировался для достижения близких статистических характеристик, сопоставимых с характеристиками оптимальных алгоритмов. После этого был выполнен расчет ресурсоемкости как количества операций сложения, умножения и ячеек памяти для хранения весов. Также выполнен расчет затрат логических элементов при реализации на программируемых логических интегральных схемах.

Литература

1. **Кирсанов, Э.Ю.** Нейрокомпьютеры с параллельной архитектурой / Э.Ю. Кирсанов. — М.: Радиотехника, 2004. — 496 с.

Секция 9
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
Industrial electronics

Председатель секции: к.т.н., доцент Асташев Михаил Георгиевич

Секретарь секции: к.т.н. Серегин Дмитрий Андреевич

*А.А. Бадрутдинов; М.А. Новиков, к.т.н., доцент;
М.И. Федорова, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ОДНОФАЗНОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Применение корректоров коэффициента мощности (ККМ) для телекоммуникационного оборудования накладывает следующие ограничения по причине модульной структуры:

- А) высокие массогабаритные показатели (3 кВт; 48 ВDC; габариты: Д x Ш x В: 346 x 105 x 41 мм), в частности высота 1 U (40 мм).
- Б) высокий КПД, для уменьшения потерь и выделения тепла (до 96%).

В работе рассматривается классическая схема однофазного ККМ, проведены расчеты массогабаритных и энергетических показателей.

Сделан вывод о необходимости разделения реактивных компонентов схемы

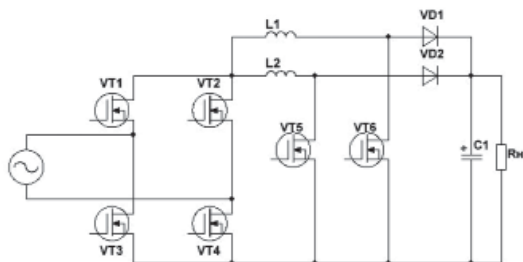


Рис. 1. Структурная схема однофазного ККМ с разделенными реактивными компонентами

для достижения требуемых параметров по высоте устройства, а также применения синхронного выпрямителя для достижения требований по КПД.

Данный вывод был сформирован на основании результатов аналитических расчетов и имитационного моделирования различных топологий ККМ.

*А.В. Горчаков, асп.; А.А. Архиреева, студ.;
рук., к.т.н., доц. П.А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)*

АППАРАТНАЯ ЗАЩИТА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

На сегодняшний день задача регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой на распределительных трансформаторных подстанциях (ТП) класса 6–10/0,4кВ с использованием полупроводниковых устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ), способных обеспечивать показатели качества электроэнергии в нормируемом ГОСТом 32114 диапазоне, актуальна и имеет преимущества по сравнению с применением механических устройств регулирования напряжения (РПН, ПБВ).

Системы управления (СУ) ПУРНТ имеют доступ как к стороне высокого напряжения (ВН), так и к стороне низкого напряжения (НН) силового трансформатора на ТП. Данные СУ выполняют сразу несколько функций: управление полупроводниковыми приборами (ПП) силовой части ПУРНТ в соответствии с различными алгоритмами управления и характером нагрузки, которая может иметь динамически изменяться во времени, осуществление диагностики отдельных ПП, мониторинг мгновенных значений токов и напряжений на сторонах ВН и НН, взаимодействие с системами высшего уровня (СВУ) посредством протокола МЭК 61850, реализация программного защитного комплекса. Однако на практике реализация программной защиты является необходимым, но недостаточным условием для обеспечения надёжной работы ПУРНТ. В случае возникновения аварии и сбоев в работе микропроцессора СУ, необходимо предусматривать дополнительный уровень защиты — аппаратный.

Аппаратная защита полупроводниковых регуляторов напряжения под нагрузкой на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) позволяет контролировать формирование сигналов управления от микропроцессора СУ и сигналов диагностики, поступающих от драйверов ПП в микропроцессор СУ, а также осуществлять сброс питания микропроцессорной части в случае её неисправной работы или зависания.

Разработка аппаратной защиты ПУРНТ проводилась в рамках реализации проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (Соглашение № 075-11-2019-060 от 6 декабря 2019 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

*А.В. Горчаков, асп.; П.Г. Нахабин, студ.; В.И. Малеев, студ.;
рук. к.т.н., доц. П.А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНЫЙ ЗАЩИТНЫЙ КОМПЛЕКС ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

На сегодняшний день регулирование напряжения на выходе трансформаторных подстанций (ТП) класса 6–10/0,4 кВ за счёт применения полупроводниковых устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ) обеспечивает значительное быстродействие (порядка половины периода сетевого напряжения) по сравнению с механическими аналогами: устройствами регулирования под нагрузкой (РПН) и устройствами переключения без возбуждения (ПВВ).

Силовая часть ПУРНТ представляет собой тиристорный коммутатор, расположенный на стороне высшего напряжения (ВН) силового трансформатора, расположенного на ТП. Управление тиристорным коммутатором осуществляется за счёт распределённой системы управления (СУ), узлы которой расположены как на стороне низшего напряжения (НН) силового трансформатора, так и на стороне ВН. Одной из основных задач СУ является реализация защиты тиристорного коммутатора ПУРНТ.

Задача защиты тиристорного коммутатора ПУРНТ может быть решена за счёт реализации программного защитного комплекса ПУРНТ, представляющего собой набор функциональных блоков, выполняемых программной микропроцессорной СУ. Программный защитный комплекс включает в себя функциональные блоки, выполняющие такие функции, как: диагностика состояния тиристорных драйверов и тиристорного коммутатора ПУРНТ, мониторинг мгновенных значений датчиков тока, напряжения и температуры по превышению заданных уставок, диагностика работоспособности датчиков, источников питания СУ ПУРНТ, диагностика наличия/обрыва оптоволоконных связей между функциональными блоками СУ ПУРНТ.

Разработка программного защитного комплекса ПУРНТ проводилась в рамках реализации проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (Соглашение № 075-11-2019-060 от 6 декабря 2019 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

*А.А. Иванов, М.С. Павлова, студ.;
рук. Р.Н. Красноперов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ СИММЕТРИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 0,4 КВ

В настоящее время многие электрические сети характеризуются наличием динамически изменяющихся и несимметричных нагрузок, снижающих качество электрической энергии всей энергосистемы. Наиболее остро проблема несимметрии токов и напряжений стоит в энергосистемах с мощными однофазными бытовыми и производственными нагрузками (электрометаллургия), а также подключенных к питанию железнодорожного транспорта на переменном токе [1]. Требования к качеству электроэнергии отражены в государственном стандарте ГОСТ 32145-2013.

Симметрирование токов и напряжений в трёхфазных сетях может осуществляться с использованием специальных устройств силовой электроники (УСЭ). Наиболее перспективными такими устройствами являются: СТАТКОМ, регулятор по схеме Штейнмеца, а также регулятор мощности с использованием трансформаторно-тиристорного оборудования (далее — РМ) [1].

В данной работе проведен анализ технико-экономических характеристик представленных УСЭ. Существенным недостатком регуляторов, построенным по схеме Штейнмеца, является симметрирование только однофазных и двухфазных нагрузок. СТАТКОМ, помимо высокой стоимости приобретения и обслуживания, имеет относительно низкую надежность и большие потери энергии в полупроводниковых ключах.

Представленная в [1] топология РМ может быть применима как для электрических сетей напряжения 0,4 кВ, так и может быть масштабирована для электрических сетей среднего (от 1 до 35 кВ) и высокого (от 110 до 220 кВ) классов напряжения за счет использования тиристорной компонентной базы. РМ обеспечивает меньшие потери электроэнергии в различных режимах работы. Благодаря простоте используемых схемотехнических решений и надежной компонентной базы обеспечивается надежность и высокая доступность владения, что облегчает внедрение РМ в электрические сети.

Литература

1. **Панфилов Д.И., Асташев М.Г.** «Способ управления мощностью статического компенсатора реактивной мощности, работающего в сети синусоидального переменного напряжения». Патент № 2739578, от 24.04.2020, опубл. 15.10. 2020, бюлл. № 29.

*М.С. Павлова, А.А. Иванов, А.М. Стойнова, В.Д. Громов, студ.;
рук. Р.Н. Красноперов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОММУТАТОРОВ

Из-за неоднородности и различного характера нагрузок, а также из-за суточных и сезонных изменений потребления электрической энергии качество напряжения в распределительных сетях 6–10/0,4 кВ часто не соответствует значениям, нормируемым в ГОСТ 32144-2013 [1]. Таким образом, на сегодняшний день стоит задача регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой в составе ТП класса 6–10/0,4 кВ в режиме реального времени. Один из способов решения поставленной задачи — это регулирование напряжения при помощи механических устройств регулирования под нагрузкой (РПН), отличается низким быстродействием и требует использование специальных дугогасящих устройств. Другим способом регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой является использование специальных полупроводниковых регуляторов напряжения, которые позволяют осуществлять быстродействующую бездуговую коммутацию [1]. В основе работы полупроводниковых регуляторов напряжения лежит коммутация ответвлений ПБВ обмотки высокого напряжения (ВН) трансформатора с помощью двунаправленных тиристорных ключей, что позволяет регулировать выходное напряжение на стороне низкого напряжения (НН) в темпе процесса.

В данной работе рассмотрены особенности подключения полупроводникового коммутатора к различным вариантам исполнения трансформаторного оборудования. Отмечено, что с увеличением количества ответвлений ПБВ трансформатора увеличивается дискретность регулирования напряжения. С целью внедрения полупроводниковых регуляторов напряжения в распределительные сети 6–10/0,4 кВ необходима техническая проработка конструкции масляных трансформаторов (составляют порядка 90% рынка) и вывод их регулировочных ответвлений из масляного бака на корпус. Такой подход позволит создать линейку доступных в приобретении и эксплуатации регуляторов напряжения.

Литература

1. **Панфилов Д.И., Асташев М.Г., Горчаков А.В.** Полупроводниковое устройство регулирования напряжения под нагрузкой для силовых трансформаторов распределительных электрических сетей 10–0,4 кВ. Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2020. № 6. С. 82–90.

*А.В. Бадалян, студ.; А.В. Горчаков, асп.; М.С. Павлова, студ.;
А.М. Стойнова, студ.; рук., к.т.н., доц. П.А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)*

ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ ДЛЯ МАСЛЯНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КЛАССА 6–10/0,4 КВ

Модернизация существующих трансформаторных подстанций — одна из первоочередных задач развития энергетического комплекса РФ. Частичное решение данной задачи — применение быстродействующих регуляторов напряжения под нагрузкой. Существующие быстродействующие регуляторы напряжения предназначены в основном для силовых трансформаторов сухого типа. В связи с этим, внедрение существующих технологий быстродействующего регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой на трансформаторных подстанциях (ТП) класса 6–10/0,4кВ осложнено неоднородностью оснащения ТП [1]: 15% подстанций используют сухие трансформаторы, остальные 85% — масляные. Поэтому актуальна разработка полупроводниковых устройств регулирования напряжения под нагрузкой (ПУРНТ) для масляных трансформаторов, позволяющих поддерживать сетевое напряжение в регламентируемом ГОСТом 32144 диапазоне.

Работа ПУРНТ для масляных трансформаторов основана на изменении количества витков обмотки высшего напряжения (ВН) силового трансформатора и, как следствие, изменении коэффициента трансформации силового трансформатора. Это реализуется за счёт надёжного управления двунаправленными тиристорными ключами [1], подключенными к выводам регулировочных ответвлений центральной обмотки ВН масляного силового трансформатора.

Разработка топологий схемотехнических решений ПУРНТ для масляных силовых трансформаторов класса 6–10/0,4 кВ проводилась в рамках реализации проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (Соглашение № 075-11-2019-060 от 6 декабря 2019 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. Асташев М.Г., Панфилов Д.И., Рожков А.Н., Петров М.И., Рашитов П.А., Горчаков А.В. Быстродействующие полупроводниковые регуляторы напряжения трансформаторов под нагрузкой для распределительных сетей. Электрические станции. № 5, 2021. С. 23–31.

*А.Р. Родионов, И.О. Косилов, студ.;
рук. М.И. Петров, к.т.н., старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В СРЕДЕ MATLAB–SIMULINK

Одним из основных этапов обучающего процесса в учебных заведениях является выполнение лабораторных работ. Обучающемуся, изучившему теоретический материал, дается возможность изучения характеристик реальных объектов исследования, а также анализа их работы при изменении внешних параметров.

Однако, данные возможности, отсутствуют в условиях дистанционного формата обучения. Одним из вариантов, способным нивелировать недостатки дистанционного обучения, является использование программных пакетов имитационного моделирования, позволяющих разрабатывать имитационные модели, детально отображающие процессы, которые протекают в реальном устройстве. Следует отметить, что преимуществом при работе с имитационными моделями является возможность исследования устройства в режимах, которые невозможно создать при работе с реальным лабораторным комплексом. Однако современные программные пакеты имитационного моделирования могут быть сложны в освоении, поэтому одной из актуальных задач дистанционного обучения является минимальное вовлечение обучающегося в не учебные процессы.

Была поставлена задача разработки обучающего комплекса для проведения дистанционных лабораторных работ по дисциплинам Промышленной электроники, обладающего удобным пользовательским интерфейсом. Данная задача была реализована в среде имитационного моделирования Matlab-Simulink, в которой был разработан комплекс для изучения полупроводниковых преобразователей переменного в постоянный ток (AC/DC преобразователи). Данный комплекс позволяет проводить исследование одно/трёхфазных выпрямителей (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема разработанного комплекса

Обучающий комплекс представляет собой соединение функциональных блоков, направленных на выполнение соответствующих задач.

М.Н. Гольцов, М.В. Сорокин, студ.;
рук. М.И. Петров, к.т.н., старший преподаватель (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЛОКОВ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СРЕДЕ MATLAB–SIMULINK

Дистанционное обучение в настоящее время является важным направлением развития образовательного процесса, который необходимо сделать максимально эффективным. Имитационные модели являются неотъемлемой частью дистанционного обучения, без которых не может быть достигнуто необходимый уровень понимания материала.

Существует большое количество вариаций преобразователей электрической энергии [1]. Для их изучения в дистанционном формате обучающемуся, помимо теоретических знаний о работе исследуемого устройства, необходимы базовые знания о среде моделирования, а также знания об особенностях разработки имитационных моделей, с их последующей настройкой, что формирует ряд сложностей, не связанных с процессом обучения. Для решения этих проблем было предложено представлять имитационную модель преобразователя электрической энергии в виде готового функционального блока, при использовании которого обучающемуся необходимо задать только параметры исследуемого устройства, при этом не требуется знать внутреннее содержание применяемой имитационной модели.

Одной из актуальных сред имитационного моделирования является Matlab Simulink. Данный программный пакет позволяет разрабатывать имитационные модели, способные детально отображать процессы, которые протекают в реальном устройстве.

Было предложено два способа реализации функциональных блоков имитационных моделей преобразователей электрической энергии в среде Matlab Simulink.

Первый способ заключается в использовании логических блоков, таких как switch-case, представленных в библиотеке имитационной среды. Данный подход является слабо оптимизированным и излишне трудоемким, что усложняет работу с имитационной моделью, а также увеличивает процесс ее компиляции и расчета.

Второй способ является более оптимизированным, принцип его работы заключается в отказе от использования логических блоков, и переходе к написанию алгоритма, выполняемому при запуске симуляции и управляемому всеми логическими операциями.

Литература

1. **Попков О.З.** Основы преобразовательной техники. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

*А.А. Ретюнский, студ.; М.А. Новиков, к.т.н., доцент;
М.И. Федорова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА РЕЗОНАНСНОГО DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Модульная структура ИП для телекоммуникационного оборудования накладывает условия:

- а) высокие межгабаритные показатели (3 kW, 48 В DC, габариты: Д x Ш x В — 345 x 103 x 40, в частности высота ИП 1 unit — 40 мм)
- б) высокий КПД для уменьшения потерь и выделения тепла (до 96%)

В работе рассмотрены характеристики LLC-преобразователя, в котором индуктивность намагничивания играет непосредственное участие в резонансных процессах.

Анализ показал высокие потери в данной топологии схемы (рис. 1). Для достижения заданных техническим заданием характеристик предложено использовать дополнительную индуктивность в контуре протекания резонансного тока.

Проведена оценка массогабаритных показателей двух схем, а также расчет потерь в реактивных компонентах схемы.

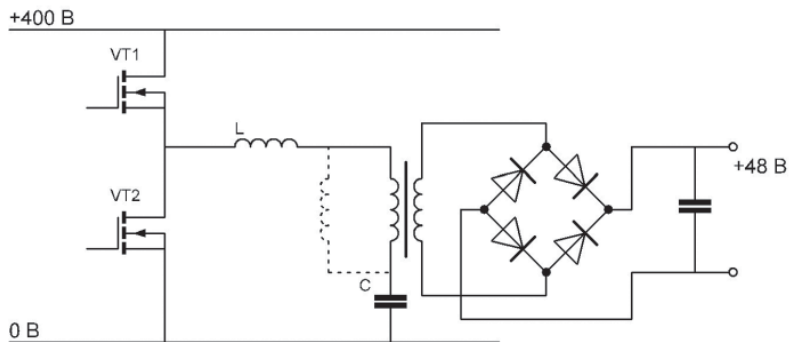


Рис. 1. Схема LLC преобразователя

*А.В. Горчаков, асп.; В.И. Малеев, студ.; А.М. Стойнова, студ.;
П.Г. Нахабин, студ.; рук., к.т.н., доц. П.А. Рашитов (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТИРИСТОРНОГО КОММУТАТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ КЛАССА 6–10/0,4 КВ

Актуальным на сегодняшний день решением по быстродействующему регулированию напряжения силовых трансформаторов класса 6–10/0,4 кВ под нагрузкой является применение полупроводниковых устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой (ПУРНТ) на трансформаторных подстанциях (ТП) класса 6–10/0,4 кВ. Основным элементом ПУРНТ является высоковольтный тиристорный коммутатор (ТК), обеспечивающий различные варианты подключения регулировочных ответвлений трансформатора с ПУРНТ.

В рамках реализации проекта с использованием мер государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (Соглашение № 075-11-2019-060 от 6 декабря 2019 г.) при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ необходимо создать высокотехнологичное производство ТП класса 6–10/0,4 кВ с ПУРНТ. С целью реализации производства ТП с ПУРНТ необходимо наладить проверку работоспособности отдельных элементов ПУРНТ, в том числе ТК.

Проверка ТК ПУРНТ происходит с применением высоковольтного трансформатора с регулировочными ответвлениями, вакуумных выключателей и релейной защиты, а также средств обеспечения безопасности при работе с напряжением 6–10 кВ, таких как «клетка Фарадея» и т.п. Недостатками такой проверки являются: высокая стоимость оборудования, необходимость высоковольтного ввода 6–10 кВ, а также повышенные требования к безопасности персонала.

Устранение вышеуказанных недостатков может быть реализовано за счёт применения экспериментального стенда (ЭС), обладающего выгодными технико-экономическими показателями. Особенностью ЭС является питание от распределительной сети 230 В, отсутствие использования высоковольтного трансформатора и ввода 6–10 кВ для проведения проверки ТК ПУРНТ.

А.В. Бадалян, В.Д. Громов, А.М. Стойнова, В.В. Кох, студ.;
рук. Д.А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ИНВЕРТОРНЫХ ЯЧЕЕК

К современным статическим преобразователям — источникам электропитания, как постоянного, так и переменного тока и напряжения, предъявляются весьма жесткие требования по качеству формируемого напряжения или тока, по снижению массы и габаритов устройств. Это заставляет разрабатывать новые схемотехнические решения, сложность которых растет. Что, в свою очередь, негативно влияет на другую важнейшую характеристику устройства — надежность.

Одним из способов решения этой проблемы является использование многоячейковых преобразователей [1, 2]. Преимуществом модульной (многоячейковой) системы является простая замена вышедшего из строя модуля. Также производство однотипных ячеек существенно проще, чем производство ячеек со сложной и изменяемой схемой. Наконец, меняя количество модулей в преобразователе, можно наращивать его мощность. Такой способ построения преобразователей позволяет реализовать резервирование блоков, что, в свою очередь, позволяет сохранять работоспособность всей системы и осуществлять питание нагрузки при неисправности одного или нескольких модулей. Для этого модули должны работать автономно и иметь минимальное количество связей друг с другом, что будет гарантировать высокую надежность. Отсутствие связей между модулями кроме общих цепей питания нагрузки исключает критичные части системы, при выходе из строя которых происходит ее отказ.

В работе рассматривается система, модулем в которой является автономный инвертор с регулировкой амплитуды выходного напряжения и частоты по цепи обратной связи. Модули включаются параллельно по выходу. Отклонение выходных напряжений может быть вызвано как рассогласованием амплитуд выходных напряжений инверторов, так и рассогласованием их частот, и, как следствие, фаз. Чтобы не допускать протекание тока между источниками, каждый из инверторов регулирует амплитуду и частоту выходного напряжения на основе измеренных значений активной и реактивной мощности на своем выходе.

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

*В.Д. Громов, А.В. Бадалян, М.С. Павлова, студ. ;
рук. Д.А. Серегин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ ИНВЕРТОРНЫХ ЯЧЕЕК

В настоящее время к статическим преобразователям предъявляются все более жесткие требования по повышению КПД, качеству выходного формируемого напряжения, снижению массо-габаритных показателей, повышению ремонтпригодности и надежности. Последнее требование является особенно актуальным.

Одним из способов получения повышенной надежности является использование многоячейковой структуры преобразователей [1, 2]. Такое решение обеспечивает высокую надежность, так как несколько однотипных ячеек могут быть выполненными избыточными по суммарной мощности и при отказе одной или нескольких ячеек их функции выполняют оставшиеся ячейки, что позволяет всей системе работать исправно без прерывания выходных параметров. Также в этом случае имеется возможность изменять суммарную мощность путем изменения количества ячеек.

В данной работе была рассмотрена система, модулем которой является трехфазный автономный инвертор напряжения. Для соблюдения требования надежности необходимо иметь минимальное число информационных связей между модулями. Желательно, чтобы связь между модулями ограничивалась соединением по выходу силовых цепей. Для обеспечения параллельной работы модулей по выходу необходима регуляция амплитуды выходных напряжений инверторов и обеспечение их синхронности и синфазности [2], регулировка происходит по цепи обратной связи. При рассмотрении двух параллельно соединенных модулей возникает ток при расхождении амплитуд выходных напряжений или их расфазировкой. Модуль с опережающим по фазе напряжением начнет отдавать активную мощность, а отстающий по фазе напряжения модуль будет потреблять эту активную мощность. Чтобы исключить ток между модулями каждый из инверторов, измеряя мощность, регулирует амплитуду и частоту выходного напряжения.

Литература

1. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

С.А. Ленву, студ.; рук. А.Л. Тув, ст. преп. (НИУ ВШЭ, Москва)

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Ни один из существующих датчиков не обладает таким набором выходных характеристик, по которым можно было бы с высокой степенью точности и достоверности судить о состоянии железнодорожного полотна. У всех датчиков есть свои слабые стороны и вредные внешние факторы, которые существенно влияют на их выходные характеристики. Например, звуковой датчик очень чувствителен к вибрациям, которые проходят по рельсу, эти вибрации распространяют звуковые колебания, которые детектируются звуковым датчиком, что сильно искажает его показания. Оптические датчики чувствительны к состоянию детектируемой поверхности рельса, поскольку у заржавевшей и натертой до блеска поверхности металла сильно разнятся коэффициенты отражения. По этой причине имеет смысл использовать только комбинации датчиков в зависимости от условий эксплуатации. Лишь получив показания разных датчиков, мы можем с достаточной степенью достоверности судить о результате измерений. В связи с этим возникает необходимость в изучении новых способов измерения линейных перемещений. Датчик, разрабатываемый в данной работе, относится к электромагнитным.

Научная новизна работы заключается в получении экспериментального подтверждения возможности измерения расстояния до металлической поверхности детектируемого объекта с помощью датчика на основе свойств замедляющей системы. Проведенный анализ источников показал отсутствие практических подтверждений использования замедляющей системы для регистрации расстояния до объекта. Чувствительный элемент датчика, состоит из двух связанных плоских спиральных катушек индуктивности с противоположным направлением намотки. Приведена эквивалентная схема замедляющей системы. Разработана принципиальная схема измерительного генератора датчика на основе модифицированного LC-генератора Колпитца, с помощью моделирования в SPICE-программе MicroCap9 были получены его характеристики. На основе этой модели был разработан действующий макет датчика, проведена экспериментальная оценка метрологических характеристик макета. Сделаны выводы о возможности прикладного применения датчиков расстояния на замедляющих системах при проектировании приборов и систем контроля, мониторинга и измерения различных физических величин и параметров технологических процессов.

*И.И. Дерягин, магистр;
рук. А.Н. Рожков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТИРИСТОРНО-ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ ГРУППАХ (ТПКГ)

Известны 2 способа управления емкостью управляемой конденсаторной группы. Они основаны на дискретном регулировании емкости конденсаторной группы, с синхронизацией управления относительно приложенного к конденсаторной группе (КГ) синусоидального напряжения [1].

Целью работы является исследование времени переключения конденсаторных батарей тиристорно-переключаемых конденсаторных групп (ТПКГ) с выявлением самого быстродействующего и наиболее оптимального варианта подключения конденсаторных батарей. Были рассмотрены 2 варианта подключения конденсаторных батарей: параллельное и последовательное. В работе рассматривалось 4 вида схем ТПКГ. Анализ динамических процессов проводился с помощью программы MATLAB Simulink. Описан подход управления управляемыми конденсаторными группами, который осуществляют с помощью управления состоянием тиристорных двунаправленных тиристорных ключей, а также изложен процесс уменьшения времени переключения между КГ.

В результате исследования были выявлены методы подключения конденсаторных групп, при которых тиристорные ключи наиболее быстро восстанавливают свои динамические свойства, в добавление к этому обнаружены моменты переключения ключей с наименьшим скачком тока во время рекуперации энергии, что уменьшает массогабаритные характеристики схем.

Литература

1. **Элгибали Ахмед Элсайед Ибрагим.** Разработка и исследование статических компенсаторов реактивной мощности на основе тиристорно — переключаемых схем, 2018. — 143 с.

С.С. Дегоян, студент;
рук. А.Н. Рожков, к.т.н., ст. преп. (НИУМЭИ, Москва)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФПУ С УЧЁТОМ КОМПЛЕКСНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

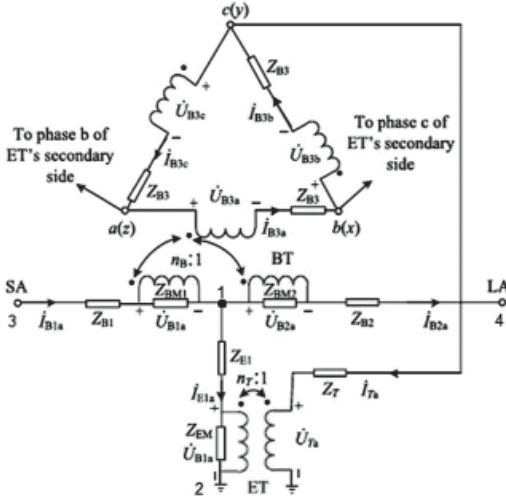


Рис. 1. Эквивалентная схема Т-образной формы

Т-образной формы трансформаторов ВТ и ЕТ. Системы уравнений модели связаны между собой через коэффициенты трансформации [2].

Результатом является отношение входного и выходного напряжений ФПУ с учётом коэффициентов трансформаций и комплексных сопротивлений. Полученное итоговое отношение позволит детально проанализировать процессы в различных схемах ФПУ с учетом реальных параметров устройства.

Литература

1. Рашитов П.А., Ремизевич Т.В. Диссертация «Модель управляемых фазовращателей для расчета режимов работы электросетей», 2011. — с. 94.
2. Рожков А.Н., Панфилов. Д.И. Диссертация «Разработка и исследование систем управления фазоповоротными устройствами, работающими в активно — адаптивных электрических сетях», 2017 — с. 27.

ФПУ создаёт фазовый сдвиг между напряжением первичных шин и напряжениями вторичных путём ввода вольтодобавочного напряжения в месте установки, что позволяет управлять потоками мощности в линиях передач переменного тока [1]. На данный момент существуют схемы замещения без учёта комплексных сопротивлений. Задачей этого исследования является расчёт и разработка модели ФПУ с учётом комплексных сопротивлений.

Основная схема для расчёта представлена на рис. 1. Эквивалентная схема

В.В. Кох, А.В. Бадалян, студенты; рук. М.И. Петров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕГИСТРАТОР СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ DAQ УСТРОЙСТВ

В настоящее время при проведении испытаний над силовыми промышленными устройствами существует проблема захвата большого количества исследуемых сигналов в режиме реального времени и их последующей обработки.

Для решения данной проблемы необходимо разработать систему [1], способную отслеживать множество сигналов в процессе выполнения испытаний, с возможностью их последующей обработки и сохранения в памяти.

Данные системы должны обладать следующими преимуществами, по сравнению с традиционно используемыми стандартными измерительными приборами (осциллографами и т.п.):

- большое количество измерительных каналов;
- высокая частота дискретизации;
- регистрация данных на всем промежутке лабораторных испытаний;
- обработка полученных данных.

Для испытаний промышленных образцов был разработан регистратор сигналов на базе среды LabView и DAQ устройстве [2], осуществляющий захват данных 16-и каналов с частотой дискретизации 1 МГц на канал. DAQ устройство обладает возможностью передачи данных в режиме реального времени на ПК. С помощью встроенного программного обеспечения LabView разработано приложение, с удобным интерфейсом для визуального анализа, позволяющее совершать обработку и преобразование данных с их последующим сохранением на диск. Структурная схема регистратора сигналов изображена на рисунке 1.

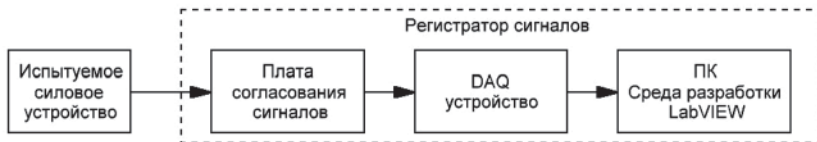


Рис. 1. Структурная схема регистратора сигналов на основе DAQ устройства

Литература

1. **Баран Е.Д.** LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы // ДМК Пресс, 2009 г.
2. **National instruments**, DAQ-устройства М серии, руководство пользователя устройств // 2008 г.

О.И. Рафф, студ.;
рук. С.С. Закожурников, к.т.н. (РТУ МИРЭА, Москва)

УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

На сегодняшний день одной из главных проблем развитых и развивающихся экономик является рост энергопотребления в социально значимых объектах и домохозяйствах. Увеличивается потребление как тепловой, так и электрической энергии. Мероприятия по энергосбережению можно разделить на малозатратные (установка приборов учёта, закупка датчиков), средне-затратные (закупка нового оборудования с более высоким классом энергоэффективности) и крупнозатратные (реконструкция тепловых и электрических сетей, а также объектов инфраструктуры) [1]. Реализацию системы «умный дом» можно отнести к малозатратным мероприятиям. Внедрение данной системы позволит экономить тепловую энергию (за счёт использования датчиков температуры) и электроэнергию (использование датчиков освещённости). Особенностью использования таких систем будет является точность искусственного интеллекта. В отличие от человека с его человеческим фактором машины лишены этого недостатка. В случаях, когда человек может забыть выключить свет, датчик подаст сигнал об отсутствии необходимости света. Эксперты считают технологию «умных» устройств одной из наиболее перспективных технологий в современном мире [2]. Посчитано количество энергии, которую можно сэкономить, путём внедрения системы «умный дом». Реализация системы «умных» устройств на производстве приведёт к ещё более высоким результатам по экономии энергоресурсов.

В перспективе развития можно оснастить каждую квартиру минимальным набором необходимого оборудования для экономии энергии и как следствие экономии финансов жильцов. Об этом лучше задумываться на этапе строительства. На предприятиях следует объединить естественное освещение с искусственным, путём регулировки искусственного освещения, используя данные с датчиков освещённости.

Литература

1. **Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. и др.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Сигов А.С., Андрианова Е.Г., Жуков Д.О., Зыков С.В., Тарасов И.Е.** КВАНТОВАЯ ИНФОРМАТИКА: ОБЗОР ОСНОВНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ // Russian Technological Journal. 2019;7(1):5–37.

*В.А. Павловская, студ., С.А. Амелин;
рук. к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА НОЧНОГО ВИДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В темное время суток или в условиях недостаточной видимости, на зрительные способности водителя накладываются ограничения. По статистике в нашей стране в среднем 41% ДТП от их общего числа происходит в сумерках и ночью. С целью предотвращения опасных ситуаций на дороге предлагается прибор ночного видения с новым алгоритмом обработки видеоизображения (рис. 1).



ДО

ПОСЛЕ

Рис. 1. Результат обработки изображения

Одним из способов увеличения информативности получаемых изображений, а также повышения контраста, является их комплексирование [1], которое подразумевает совместное использование инфракрасного и видимого диапазонов. Алгоритмы комплексирования позволяют обобщить информацию, полученную с изображений, относящихся к разным диапазонам в одно результирующее.

Используя метод построчного чередования пикселей одного изображения относительно другого, возможно повысить результирующий контраст более чем на 10%.

Использование такого метода обработки изображения позволит увеличить четкость и качество изображения. В результате чего время реакции водителя на препятствие снизится, а безопасность на дорогах увеличится.

Литература

1. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ [Электронный ресурс.] URL: https://vk.com/doc2226822_618447118?hash=1a278858cb116f9efc&dl=77835b9c138629bf4a (Дата обращения 07.11.21).

А.М. Калимуллин, студ.; рук. М.А. Новиков, к.т.н.; МЭИ, г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЛОКА АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ON-GRID ИНВЕРТОРОМ

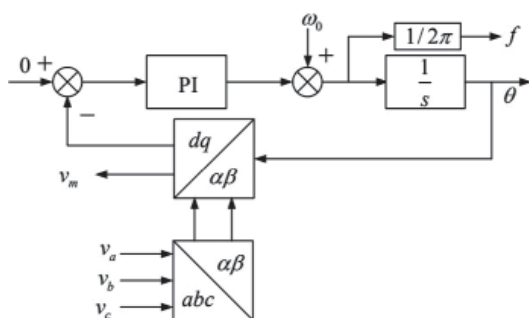


Рис. 1. Блок-схема программно реализованной ФАПЧ

ые (DPLL) и программные (SPLL). Выбор конкретного типа реализации зависит от поставленных задач.

В данной работе исследована программная реализация ФАПЧ для управления on-grid инвертором. Рассмотрены уже имеющиеся алгоритмы реализации ФАПЧ и на их основе разработан собственный алгоритм с возможностью подстройки как частоты, так и амплитуды тока инвертора. Разработанный алгоритм проверен на микроконтроллере STM32G474 на плате мостового инвертора мощностью 2 кВт.

Системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) находят широкое применение в электронных устройствах. Они используются для частотной модуляции и демодуляции, преобразования частоты, частотной фильтрации, для распределения сигналов синхронизации в цифровых логических схемах. Существует различные типы реализации ФАПЧ: аналоговые (APLL), цифро-

Д.Б. Лёвин, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ПОСТРОЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ БАЛЛАСТОВ С РУГУЛИРУЕМЫМ ВЫХОДНЫМ ТОКОМ И ИХ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ПЕРЕВОДА НА ОТЕЧЕСТВЕННУЮ ЭЛЕМЕНТУЮ БАЗУ

Светодиодное освещение является одним из самых перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. В сравнении с обычными лампами накаливания, а также люминесцентными лампами светодиодные источники света обладают многими преимуществами. При оптимальной схемотехнике источников питания, применении качественных компонентов и обеспечении надлежащего теплового режима, срок службы светодиодных систем освещения при сохранении приемлемых для общего освещения показателей может достигнуть 36–72 тысяч часов, что в среднем в 50 раз больше по сравнению с номинальным сроком службы ламп накаливания общего назначения и в 4–16 раз больше, чем у большинства люминесцентных ламп. Для обеспечения качественной работы светодиодного освещения, необходимы источники питания с соответствующими выходными параметрами. В настоящее время существует различное множество вариантов реализации светодиодных драйверов в зависимости от стоящих задач.

- Диапазон входного/выходного напряжения
- Значение выходного тока
- Выходная мощность (минимальная и максимальная)
- КПД (коэффициент полезного действия)
- Наличие или отсутствие коррекции коэффициента мощности
- Наличие или отсутствие гальванической связи с питающей сетью.

В данной работе рассматривается проблема реализации управления яркостью светодиодов на отечественной элементной базе, так как перед отечественной промышленностью стоит задача импортозамещения. В работе проведен анализ решений построения светодиодных балластов с регулируемым выходным током. Были разработаны макеты с регулировкой яркостью по протоколу 0–10 В, а также подвергнуты анализу другие протоколы, рассмотрены основные возможности (DALI, DMX-512) [1].

Литература

1. **В.И. Мелешин, Д.А. Овчинников** Управление транзисторными преобразователями электроэнергии // Техносфера, 2011.

А.Ю. Будиков, студ.; рук. А.Н. Смирнов, к.т.н., доц. НИУ «МЭИ»

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОГО АС-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В АКТИВНОЙ СИСТЕМЕ БАЛАНСИРОВКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Литий-ионные аккумуляторные батареи (АКБ) в процессе эксплуатации необходимо балансировать по уровню заряженности [1] элементов для сохранения работоспособности и высокой эффективности. Данный процесс осуществляется системой балансировки. Системы балансировки подразделяют на два вида: пассивные с рассеиванием энергии на резистивных элементах и активные с перераспределением энергии. Кроме того, активные системы подразделяются на однонаправленные (энергия передается только из элемента в АКБ или наоборот) и двунаправленные (энергия передается между элементами).

Наибольшей перспективой обладают активные двунаправленные системы, которые совместно с продвинутыми алгоритмами оценки уровня заряженности, емкости и внутреннего сопротивления могут обеспечить максимальную эффективность использования АКБ. Такие системы как правило строятся на основе множества DC-DC или AC-DC преобразователей, которые подключаются параллельно к каждому блоку элементов.

В работе анализируются способы управления двунаправленным AC-DC преобразователями для достижения минимального времени балансировки по уровню заряженности. Рассматривается возможность синхронного управления всеми преобразователями и независимого управления каждого преобразователя. Проводится моделирование частотного управления, широтно-импульсного регулирования и фазового управления.

Моделирование схем и алгоритмов проводится в среде MATLAB Simulink.

Литература

1. **Andrea D.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs, Artech, 2010.

М.Г. Иванов, студ.; рук. К.А. Вытовтов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ШАГАЮЩЕГО ЧЕТЫРЕХНОГО РОБОТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОПАСНЫХ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА СИТУАЦИЯХ

В настоящее время наблюдается тенденция к повсеместной интеграции робототехники на промышленных предприятиях для выполнения производственных задач с тяжелыми, опасными и вредными условиями труда. Согласно программе федерального проекта «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» на 2019–2024 год [4], более 20% положений связано с развитием робототехники и распределенных вычислений.

Для решения этих задач хорошо зарекомендовали себя шагающие роботы. Передвижение посредством шагающих ног обеспечивает высокую проходимость и способность преодолевать разнообразные препятствия. Наличие дистанционного управления и канала видеосвязи позволяет контролировать робота на больших расстояниях, это обеспечивает гибкость применения и безопасность оператора.

Исходя из этих требований, разработан четырехногий робот (квадропад) с возможностью машинного зрения и управления по средством Wi-Fi с удаленного сервера. Робот предназначен для автоматизации рутинных задач и замены человеческого труда. Из подобных шагающих роботов возможно сформировать рой роботов, способных сообща выполнять поставленную задачу. Роем управляет удаленный сервер. Сервер разбивает сложную задачу на простые и просчитывает алгоритм для каждого экземпляра, синхронизируя их действия в один слаженный механизм.

Таким образом данный робот способен снизить необходимость человеческого присутствия при выполнении опасных производственных задач, это в свою очередь обеспечит повышенную безопасность и исключит людские потери.

Литература

1. **Белянин П.Н.** Промышленные роботы и их применение: Робототехника для машиностроения. М.: Машиностроение, 1983.
2. **Anand Kumar Mishra.** Indian Institute of Technology Patna. «Design, Simulation, Fabrication and Planning of Bio-Inspired Quadruped Robot», 2014.
3. **Franco Tedeschi, Giuseppe Carbone.** University of Cassino and Southern Lazio. «Design Issues for Hexapod Walking Robots», 2014.
4. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии // Нейротехнологии и искусственный интеллект. Москва, 2019 4. — с. 104–105.

Секция 10
ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА
Electronics and nanoelectronics

Председатель секции: д.т.н., профессор Гуляев Александр Михайлович

Секретарь секции: к.т.н. Зезин Денис Анатольевич

К.С. Макарук, студ.; рук. А.Д. Баринов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ МОРФОЛОГИИ ХАЛЬКОГЕНИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Тонкопленочные твердые растворы $Pb_xCd_{1-x}S$ находят широкое применение в различных областях оптоэлектроники, в том числе в конструкциях фоторезисторов для ближнего ИК-диапазона. Было доказано, что эти растворы очень чувствительны к различным газам, поэтому могут применяться и в газовых сенсорах [1].

Варьируя состав твердого раствора $Pb_xCd_{1-x}S$, мы можем регулировать свойства материала, которые определяются шириной запрещённой зоны от узкозонного сульфида свинца до широкозонного сульфида с изменением ширины запрещённой зоны от 0,41 до 2,43 эВ [2].

Свойства твердых растворов также различаются областями фотопроводимости отдельных соединений: сульфид свинца характеризуется фоточувствительностью в диапазоне 400–3100 нм (от видимого до ИК областей спектра), а сульфид кадмия в диапазоне 500–700 нм (видимая область спектра).

Свойства полупроводниковых пленок (в частности длина волны поглощения) сильно зависят от размеров кристаллитов (рисунок 1), которые их формируют, а они в свою очередь определяются многими факторами, в том числе и временем химического или физического осаждения.

Работа посвящена исследованию морфологии поверхности плёнок в зависимости от времени осаждения их на подложку.

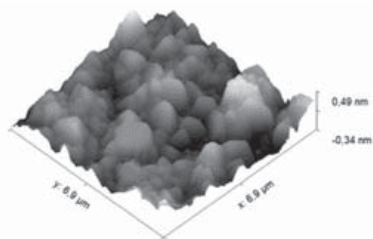


Рис. 1. Типичное АСМ-изображение $Pb_xCd_{1-x}S$

Литература

1. **Bethke, P.M.** Sub solids relations in the system $PbS-CdS$ / P.M. Bethke, P.B. Barton // Amer. Miner. — 1971. — V. 56. — № 11-12. — P. 2034-2039.
2. **Kamruzzman, M.** Synthesis and characterization of the as deposited $Cd_{1-x}Pb_xS$ thin films prepared by spray pyrolysis technique / M. Kamruzzman, R. Dutta, J. Podder // Физика и техника полупроводников. — 2012. — Т. 46. — В. 7. — С. 979-983.

М.А. Шустинский, студ.; рук. Д.А. Зезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ВЫБОРКИ ДАНЫХ В КЭШ И ТИПА ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ НА ПРОЦЕНТ ПОПАДАНИЯ В КЭШ И ЕГО РАЗМЕРЫ НА КРИСТАЛЛЕ ГОТОВОЙ ИС

Начиная, примерно, с 80-х годов 20 века быстродействие процессоров увеличилось экспоненциально согласно закону Мура, производительность же оперативной памяти увеличивалась непропорционально, став узким местом. Проблема заключается в том, что со временем росла потребность в памяти, что требовало снижения затрат на один бит информации, что соответственно вело к увеличению времени доступа к ней.

Чтобы сгладить время ожидания данных процессора из медленного хранилища была придумана кэш память. В процессоре внутренняя кэш память выполняется на базе SRAM.

Эффективность работы кэш памяти можно оценить, используя отношение количества попаданий в кэш к общему числу запросов к памяти (hit ratio). При значении стремящемся к 1 процессор никогда не будет находиться в состоянии простоя.

Таким образом именно оптимизация структуры кэша является ключевым фактором в увеличении производительности современных процессоров.

В данной работе будет рассмотрено влияние алгоритма сохранения данных в кэше и организации его структуры на hit ratio.

При разработке алгоритмов будут учтены принципы временной, пространственной и алгоритмической локальности на примерах кэша с прямым отображением, ассоциативного кэша и наборно-ассоциативного кэша.

Литература

1. **Bruce Jacob, Spencer W. Ng, Dawid T. Wang.** Memory Systems Cache, DRAM, Disk // Elsevier, 2008.

М.С. Бабаев, студ.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Современные полупроводниковые фотопреобразователи такие как: диоды Шоттки, р-п-переходы, многослойные структуры и т.д. обладают большой рабочей площадью кристаллов. Увеличение площади напрямую связано с повышением эффективности фото преобразователя. Часто производитель, гонясь за объемами производства забывает про изучение специфических параметров структур, ограничиваясь только вольтамперными характеристиками.

Ряд параметров, отвечающих за эффективность фотопреобразователя такие как: время жизни носителей заряда, время пролета носителей через «базу» и др. динамические параметры не идентифицируются на статических вольтамперных характеристиках. Особенно разброс параметров сильно сказывается, при смене производителя подложек или корректировки применяемых технологических процессов при изготовлении. Что неизбежно в современных реалиях производства и тендерной политики государства [1].

Исследования, проводимые в рамках данной работы, показали, что готовые структуры преобразователей обладают емкостью, не позволяющей проводить динамические исследования. Для изучения быстрых физических процессов, требуется разработка специализированных тестовых структур. Такие структуры должны обладать минимальной площадью р-п-перехода при сохранении рабочих параметров преобразователей.

Целью данной работы является разработка и исследование тестовых структур для исследования быстрых физических процессов в полупроводниках.

Литература

1. П.А. Иванов, М.Е. Левинштейн, Т.Т. Мнацаканов, J.W. Palmour, A.K. Agarwal. Мощные биполярные приборы на основе карбида кремния. Физика и техника полупроводников, 2005, том 39, вып. 8.

А.А. Кравченко, студ.; рук. Ю.В. Ануфриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Полупроводниковые фотопреобразователи в эру роста и развития нанoeлектроники, в этап расцвета твердотельной электроники, оказывают все большее и большее влияние на область энергетики. Кроме новых способов обнаружения и детектирования фотопреобразователи могут предоставлять «зеленую» энергию, потребность и необходимость в которой растет с каждым годом. А потому и все четче встает вопрос об улучшении и оптимизации фотопреобразователей. Но для их развития нужны надежные средства изучения параметров.

Изучение параметров полупроводниковых фотопреобразователей позволяет прогнозировать влияние конструктивных и технологических решений на их рабочие характеристики. А также выяснять по какой причине с точки зрения технологических ошибок происходит отклонение теоретических значений их рабочих характеристик от проявляемых при практическом применении фотопреобразователя.

Исследование статических вольтамперных характеристик позволяет определять следующие параметры: Дифференциальное сопротивление, эффективность выпрямления, Коэффициент нелинейности, эффективность фото преобразования, эффективную мощность, коэффициент заполнения, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, ток насыщения и др.

Исследование динамических характеристик позволяет определять быстрые процессы, проходящие в полупроводниковых структурах фотопреобразователей: такие как время жизни инжектированных носителей заряда, наличие ловушечных уровней и длину сводного пробега электронов в «базе» диода и др.

Целью данной работы является разработка комплекса метрологических решений по измерению прямых и обратных статических вольт-амперных характеристик фотопреобразователей, как в случаях отсутствия внешнего оптического воздействия, так и в случае наличия и оказания воздействия на измеряемый образец. А также комплекса метрологических решений по изучению динамических характеристик методами Леккса и Госсика [1].

Литература

1. **Gossick, BR** (1953). App. Physical Review, 91 (4), 1012–1013. DOI: 10.1103 / PhysRev.91.1012

А.А. Рожко, асп.; А.В. Саенко, к.т.н., доц.; рук. С.П. Малюков, д.т.н., проф. (ИТА ЮФУ, Таганрог)

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОННОГО ПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРОВСКИТНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Тонкопленочные солнечные элементы, включающие в качестве фотоактивного материала металлоорганические соединения со структурой перовскита ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$), показывают эффективность преобразования энергии более 20%. Несмотря на высокую эффективность перовскитных солнечных элементов, она все еще далека от теоретического максимума (31%). Одной из причин является рекомбинация носителей заряда, которая снижает фактор заполнения и напряжение холостого хода в солнечном элементе. Другой причиной являются оптические потери и неидеальные проводящие слои n- и p-типа.

В данной работе проведено исследование влияния материала электронного проводящего слоя на фотоэлектрические параметры и характеристики перовскитных солнечных элементов со структурой ETL/ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$, где ETL — электронный проводящий слой TiO_2 или ZnO толщиной 50 нм, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ — фотоактивный (поглощающий) слой толщиной 700 нм и Cu_2O — дырочный проводящий слой толщиной 250 нм. Исследование проводилось с использованием программы одномерного численного моделирования солнечных элементов SCAPS-1D, в основу которой положена нестационарная диффузионно-дрейфовая система уравнений полупроводника (уравнения непрерывности для электронов и дырок, уравнение Пуассона).

Показано, что использование ZnO в качестве электронного проводящего слоя повышает эффективность перовскитного солнечного элемента на 2,4% по сравнению со слоем TiO_2 . Получена максимальная эффективность 22,07% для солнечного элемента со структурой $\text{ZnO}/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$ (ток короткого замыкания 24,9 мА/см², напряжение холостого хода 1,1 В, фактор заполнения 80,63%).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в области научной деятельности № 0852-2020-0015.

Т.С. Чуканова, асп.; рук. А.И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЁНОК

В работе [1] исследовалось влияние карбидообразующего металла (титана) на диэлектрические свойства алмазоподобной кремний-углеродной пленки. Был проведён анализ диэлектрической проницаемости материала, тангенса угла потерь, а также их частотные и температурные зависимости. При введении титана (или другого переходного металла, например, гафния) в кремний-углеродных плёнках образуются карбиды металла, обладающие большей проводимостью. В случае использования алюминия, в плёнках карбид не образуется, хоть алюминий так же является карбидообразующим. В связи с этим изучение влияния алюминия на диэлектрические свойства представляет немалый интерес.

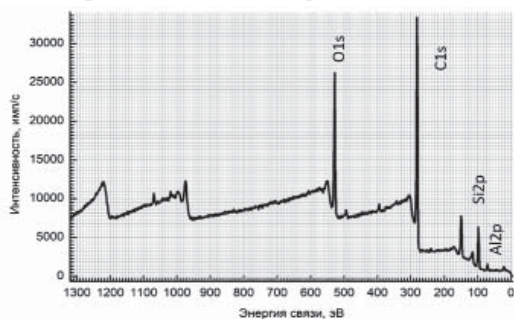


Рис. 1. Обзорный РФЭС спектр образца с 3 ат. % Al

спектроскопии (РФЭС) для идентификации химических связей с атомами алюминия в кремний-углеродной плёнке, по результатам которых было установлено наличие оксида алюминия в аморфно фазе. Так же были проведены исследования диэлектрических свойств, тангенс угла потерь и диэлектрическая проницаемость. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00021).

Плёнки для исследования были получены методом плазмохимического разложения кремнийорганического вещества полифенилметил-силоксана (ПФМС) и одновременного магнетронного распыления металла Al. Концентрации металла лежали в диапазоне от 0,2 до 10 ат. %. В работе проведены исследования методом рентгеновской фотоэлектронной

Литература

1. Чуканова Т.С. Влияние титана на диэлектрические свойства аморфных кремний-углеродных плёнок / Чуканова Т.С. / Радиотехника, электротехника и энергетика: тез. докл. Двадцать седьмой Междунар. науч.техн. конф. студентов и аспирантов., Москва 11-12 марта 2021 г. / МЭИ — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — С. 141. — ISBN 621.3+621.37[(043.2)]

Секция 11
БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
Biomedical Electronics

Председатель секции: к.т.н., доцент Крамм Михаил Николаевич

Секретарь секции: к.т.н. Стрелков Николай Олегович

*Д.В. Лейченко, Ю.В. Булгакова, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н.,
ст. преп. (НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



Рис. 1. Фантом для транскраниального ультразвукового исследования

В настоящее время ультразвуковое исследование является наиболее доступным и безопасным средством выявления патологий в организме человека, однако наблюдается нехватка высококлассных специалистов транскраниального ультразвукового исследования, способных диагностировать патологии мозга и внутричерепных сосудов. Одной из причин этого является нехватка доступных фантомов для отработки навыков визуализации через окна прозрачности черепа взрослого человека.

Данная работа посвящена разработке антропоморфного фантома головы человека. Был разработан прототип фантома [1], представленный на рис. 1. Он содержит имитации височной кости и мозга с гиперэхогенными включениями. Модель черепа извлекалась из компьютерной томограммы и печаталась на 3D принтере, модель мозга получена на основе магниторезонансной томограммы головы. В дальнейшем планируется дополнить фантом моделью кожного покрова.

Результаты работы могут быть использованы при разработке способов коррекции аберраций [2–5], также они будут интересны врачам и студентам медицинских учебных заведений.

Литература

1. Суслина Л.А., Лейченко Д.В. Разработка фантома для транскраниальных исследований // Радиотехника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов XXVII МНТК. Москва, 2021. С. 166.
2. Leonov D., Kulberg N., Osipov L., Skosirev S., Grigorev G., Vladzimirskiy A., Morozov S. Aberration correction in transcranial ultrasound imaging // Int J CARS. 2020. V. 15. № Suppl 1. S157.
3. Osipov L.V., Kulberg N.S., Skosyrev S.V. et al. Transcranial Beam Steering with Aberration Correction // Biomed Eng 54, 438–442 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10527-021-10057-3>
4. Кульберг Н.С., Леонов Д.В. Способ получения ультразвуковых изображений головного мозга // Патент на изобретение RU2750965
5. Кульберг Н.С., Леонов Д.В. Способ исправления фазовых искажений в сигналах при транскраниальной ультразвуковой визуализации // Патент на изобретение RU2744313

*А.А. Насибуллина, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, к.т.н., ст. преп.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

НАБОР УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Большинство современных ультразвуковых диагностических приборов имеют закрытую архитектуру, в этом смысле они подобны черному ящику, происходящее внутри которого скрыто. А именно от происходящего внутри зависит изображение на экране прибора, на основе которого врач ставит диагноз. Для совершенствования алгоритмов обработки ультразвуковых сигналов необходимы либо очень труднодоступные приборы с открытой архитектурой, либо наборы данных, полученных на таких приборах.

Мы опубликовали набор сигналов из тракта предварительной обработки ультразвукового диагностического устройства [1], полученных в результате экспериментальных наблюдений фантомов. В наборе содержатся сигналы из разных областей: сигналы из сосудов с потоком, сигналы от неподвижных тканей, сигналы от кальцинатов.

В докладе рассказывается об особенностях этого набора данных, о возможностях, которые дает его использование. Например, с его помощью были исследованы алгоритмы фильтрации кровотока [2, 3], был разработан особый диагностический режим работы ультразвукового прибора, позволяющий диагностировать почечные камни и кальцинаты [4–6]. К набору прилагается программа для его просмотра и анализа [7].

Литература

1. **Leonov DV, Reshetnikov RV, Kulberg NS, Nasibullina AA, Gromov AI.** Doppler twinkling artifact observations: an open-access database of raw ultra-sonic signals. *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):261–276. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD76511>
2. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Fin V.A., et al.** Clutter filtering for diagnostic ultrasound color flow imaging // *Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 53, N 3. P. 217–221. doi: 10.1007/s10527-019-09912-1
3. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Fin V.A., et al.** Comparison of filtering techniques in ultrasound color flow imaging // *Biomedical Engineering*. 2019. Vol. 53, N 2. P. 97–101. doi: 10.1007/s10527-019-09885-1
4. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Gromov A.I., Morozov S.P.** Detection of micro-calcifications using the ultrasound Doppler twinkling artifact // *Biomedical Engineering*. 2020. Vol. 54, N 3. P. 174–178. doi: 10.1007/s10527-020-09998-y
5. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакта: дисс. к.т.н. / РГРТУ им. В.Ф. Уткина. Рязань, 2019
6. **Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А., Громов А.И.** Способ выявления аномалий физической плотности при акустической визуализации//Заявка на изобретение № 2017113162 от 18.04.2017.
7. **Кульберг Н.С., Леонов Д.В.** Программа обработки и анализа сигналов ультразвуковой визуализации в режиме цветового доплеровского картирования кровотока: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018617330, 21.06.2018

*В.П. Новик, асп.; рук-ли С.Б. Прокудайло, Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

РАСПОЗНАВАНИЕ УЧАСТКОВ ТЕКСТА С ПЕРСОНАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ НА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Медицинские исследования в DICOM формате [1] содержат информацию о пациенте и самом исследовании в виде структуры тэгов. Для исключения возможности распространения персональных данных тэги, содержащие такую информацию, удаляют или искажают их значение. Если персональные данные закодированы непосредственно в изображениях, применяются методы оптического распознавания текста. И хотя в нем отсутствуют шумы сканирования и геометрические искажения, выделение областей с персональными данными предъявляет существенные требования к используемым методам распознавания. Так как изображения текста в медицинских DICOM файлах обладают рядом особенностей: различными видами и размерами используемых шрифтов, низким разрешением, обрезанные и слитные символы, нестабильный фон текста.

Разработан метод обнаружения областей текста с приватными данными на медицинских изображениях, позволяющий обеспечить дополнительную защиту персональных данных. Для первичного распознавания текста используется модуль Tesseract [2]. На основании значений тэгов из DICOM-файлов формируются набор строк для поиска их в распознанном тексте. Для поиска этих строк используется модифицированное расстояние Левенштейна [3]. Определены оптимальные параметры пороговых значений, использующихся при принятии решений о наличии совпадения. Определена точность локализации областей с личными данными на наборе из 1131 медицинских изображений с экспертной разметкой, которая составляет 99,86%.

Результаты работы могут быть полезны медицинским организациям, обрабатывающим медицинские данные в формате DICOM.

Литература

1. **Dicom standard.** URL: <https://www.dicomstandard.org>.
2. **Smith R.** An overview of the tesseract OCR engine // ICDAR, 2007: 629–633.
3. **Schulz K., Mihov S.** Fast string correction with levenshtein automata // International Journal on Document Analysis and Recognition, 2002, (5): 67–85. <https://doi.org/10.1007/s10032-002-0082-8>

*К.Р. Пузова, студ.; рук. Д.В. Леонов, к.т.н., ст. преп.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ФАНТОМА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

По данным ВОЗ инсульт является второй по распространенности причиной смертности в мире [1]. Причиной может служить разрыв аневризмы сосуда головного мозга. Аневризма — это выпячивание стенки вследствие её истончения или растяжения, при этом диаметр сосуда увеличивается более чем в 2 раза. Причиной могут служить врождённые или приобретённые дефекты стенки. Обычно аневризма до разрыва никак себя не проявляет. В следствие разрыва аневризмы может развиться нетравматическое кровоизлияние, которое становится причиной инсульта, что может привести к серьезным неврологическим осложнениям или смерти пациента. К сожалению, в большинстве случаев аневризмы обнаруживаются уже после их разрыва, поэтому очень важна ранняя диагностика. Аневризмы можно обнаружить с помощью транскраниальной доплерографии, заключающейся в измерении скорости кровотока в основных крупных сосудах головы. По результатам обследования можно с уверенностью сказать, в каком именно участке головы нарушен кровоток.

Работа посвящена созданию фантома сосудов головного мозга. С помощью фантома можно улучшить навык нахождения аневризм при проведении транскраниальной доплерографии, а также использовать его для тестирования алгоритмов фильтрации кровотока [2, 3]. Приводятся результаты исследования фантома в режиме цветового доплеровского картирования. Результаты предварительных испытаний выявили ряд ограничений использования фотополимерной смолы в качестве модели стенки сосудов. В настоящий момент готовится ряд экспериментов с новыми материалами для подбора оптимального решения.

Результаты работы могут быть интересны разработчикам медицинской техники, студентам медицинских университетов и врачам.

Литература

1. **Всемирная** Организация Здравоохранения. 10 ведущих причин смерти в мире. [Электронный ресурс] URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения: 25.10.2021).
2. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Vladzimirskiy A.V., Morozov S.P., Fin V.A., Podmoskovnaya V.A., Ivanova L.S., Shipaeva A.S.** Comparison of filtering techniques in ultrasound color flow imaging // Biomedical Engineering. 2019. Т. 53. № 2. P. 97–101.
3. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Vladzimirskiy A.V., Morozov S.P., Fin V.A., Podmoskovnaya V.A., Ivanova L.S., Shipaeva A.S.** Clutter filtering for diagnostic ultrasound color flow imaging // Biomedical Engineering. 2019. Т. 53. № 3. P. 217–221.

*О.К. Тарасова, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, к.т.н., ст. преп.
(НИУ «МЭИ», ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», Москва)*

ФАНТОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод ультразвукового исследования используется для ранней диагностики различных новообразований в теле человека, в том числе и в молочной железе. С 2008 года заболеваемость раком молочной железы возросла более чем на 20%, а смертность — на 14% (522 000 тыс. женщин) [1]. Из этого следует, что с раком молочной железы сталкивается каждая 4 женщина, имеющая злокачественные заболевания. Точность диагноза часто напрямую зависит от квалификации врачей, проводящих обследование пациента, именно поэтому следует уделить особое внимание подготовке высококвалифицированных специалистов, для которой необходимо использование фантомов.

Данная работа посвящена разработке и исследованию антропоморфного фантома молочной железы. Фантом был создан с помощью тканеимитирующих материалов и имеет включения, представляющие различные новообразования. Форма фантома и отсеки для включений были созданы с помощью 3D принтера. Материалы подбирались с учётом максимального приближения к ультразвуковым характеристикам тканей человека. Фантом содержит микрокальцинаты, поэтому его можно использовать для исследования сигналов мерцающего артефакта [2–4].

Характеристики фантома подбираются исходя из цели его использования. Так, фантом молочной железы может быть использован для эхографии, эластографии, тренировки взятия биопсийного материала и прочее.

Разработанный фантом позволит повысить качество подготовки врачей ультразвуковой диагностики.

Литература

1. **Ferlay J., Soerjomataram I, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, Parkin DM, Forman D, Bray F.** Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer.* 2015 Mar 1;136(5):E359–86. doi: 10.1002/ijc.29210.
2. **Leonov D.V., Kulberg N.S., Gromov A.I., Morozov S.P.** Detection of micro-calcifications using the ultrasound Doppler twinkling artifact // *Biomedical Engineering.* 2020. Vol. 54, N 3. P. 174–178. doi: 10.1007/s10527-020-09998-y
3. **Леонов Д.В.** Ультразвуковая медицинская диагностическая система на основе доплеровского мерцающего артефакта: дисс. к.т.н. / РГРТУ им. В.Ф. Уткина. Рязань, 2019.
4. **Leonov DV, Reshetnikov RV, Kulberg NS, Nasibullina AA, Gromov AI.** Doppler twinkling artifact observations: an open-access database of raw ultra-sonic signals. *Digital Diagnostics.* 2021;2(3):261–276. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD76511>

Д.И. Левченков, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ МИОКАРДА НА БАЗЕ ОБЪЕМНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Математическая модель электрической активности миокарда на базе клеточных автоматов поверхностного типа позволяет решить прямую задачу электрокардиографии путем расчета потенциалов в любой точке поверхности грудной клетки в дискретные моменты времени одиночного кардиоцикла [1].

Целью настоящей работы является моделирование динамики возбуждения в объеме миокарда с помощью объемных клеточных автоматов [2].

Возбуждение миокарда моделируется за счет смены состояний объемных клеточных автоматов. Для каждого клеточного автомата определяется состояние в каждый дискретный момент времени одиночного кардиоцикла. Состояние клеточного автомата в текущий момент времени зависит от собственного состояния и состояний соседних автоматов в предшествующий момент времени и подчиняется определенному правилу сменяемости состояний (рисунк 1).

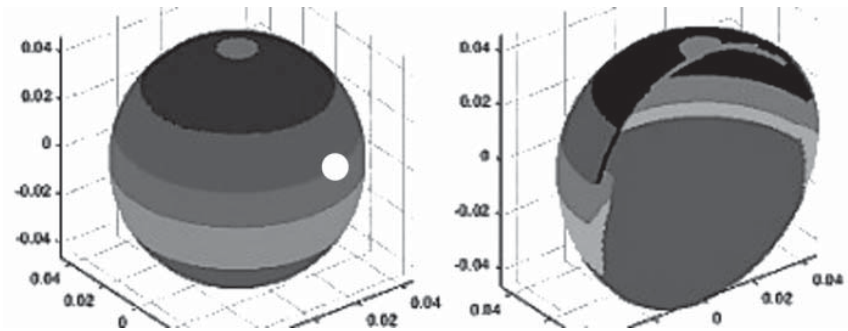


Рис. 1. Моделирование возбуждения: деполяризация желудочков

Моделирование динамики возбуждения миокарда позволит визуализировать особенности распространения автоволн в объеме миокарда с учетом наличия разного типа поражений тканей, таких как некроз и ишемия при их субэндокардиальных и субэпикардиальных локализациях.

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 НПК с международным участием. М. РУДН, 2020.
2. Левченков Д.И., Жихарева Г.В. Разработка геометрической модели миокарда с использованием объемных клеточных автоматов. Тезисы. М.: МЭИ, 2021.

Т.Л.Н. Чыонг, асп.; рук. М.Н. Крамм, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА РЕКОНСТРУКЦИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА НА ПОВЕРХНОСТИ ЭПИКАРДА

Реконструкция распределения эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС), проводимая в целях совершенствования электрокардиодиагностики, ориентирована на предоставление кардиологу визуальной информации об электрической активности на поверхности сердца.

Для получения устойчивости при обращении матриц в методе реконструкции [1] проводится регуляризация. Степень регуляризации характеризуется параметром C_b , равным отношению максимального сингулярного значения к минимальному учитываемому сингулярному значению матрицы. Таким образом, значение C_b ограничивает диапазон учитываемых сингулярных чисел матрицы. Дополнительными параметрами алгоритма являются: число точек в сетке на поверхности торса N_b , число точек в сетке на поверхности квазиэпикарда N_h , число итераций $iter$ в методе реконструкции [1].

На рис.1 приведен пример 2D распределения потенциала на плоской развертке поверхности сферического квазиэпикарда в момент времени, соответствующий вершине R-зубца кардиоцикла при $C_b = 10$ и $C_b = 30$. Длины дуг при развертке поверхности приведены в мм; величина потенциала отражается в полутоновой палитре (масштаб шкалы дан в мВ). Используются значения параметров: $N_b = 3528$, $N_h = 2058$ и $iter = 4$.

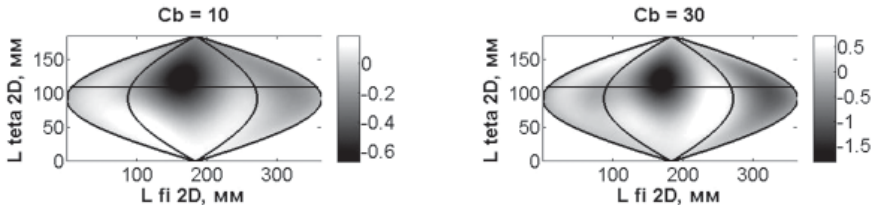


Рис. 1. 2D-карты потенциала на квазиэпикарде в момент времени, соответствующий вершине R-зубца кардиоцикла при разных значениях C_b

Сравнение карт потенциала говорит о том, что при $C_b = 30$ неоднородности потенциала наблюдаются более четко, лучше локализованы. Результаты исследования помогут повысить наглядность визуализации.

Литература

1. Крамм М.Н. Проведение регуляризации при реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца поверхностного типа // Вестник новых медицинских технологий. — 2020. — Т. 27, № 2. — С. 103–106. doi: 10.24411/1609-2163-2020-16626

И.В. Андреев, асп.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СЕРДЦА С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

В работе решается задача моделирования проводящей системы сердца. Такая модель позволит исследовать влияния нарушений в работе проводящей системы сердца на ЭКГ-сигналы, а также разработывать и апробировать алгоритмы диагностики нарушений в проводящей системе сердца по ЭКГ-сигналам.

Для моделирования электрической активности сердца была взята модель генератора сердца на базе клеточных автоматов [1] и модернизирована путем добавления клеток проводящей системы сердца (рис. 1, а). На рисунке цифрами 1 и 3 обозначены клетки внутреннего миокарда вокруг СА-узла; цифрой 2 — клетки СА-узла; 4 — АВ-узла; 5 — пучка Гиса; 6 — левой ножки пучка Гиса; 7 — правой ножки пучка Гиса; чёрными точками — клетки, не участвующие в проведении возбуждения.

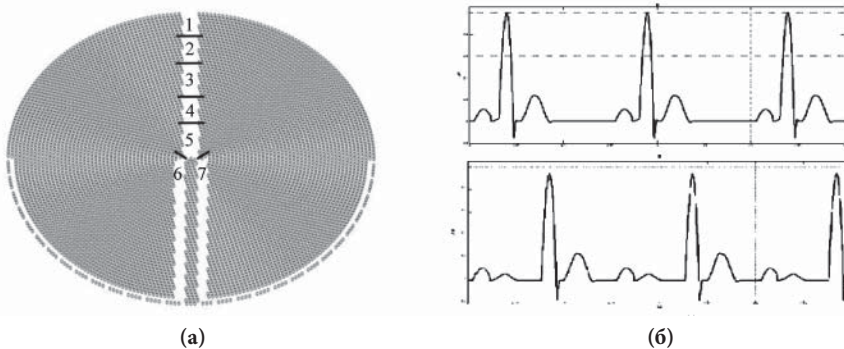


Рис. 1. Результаты моделирования: (а) — клеточные автоматы проводящей системы сердца, (б) — ЭКГ-сигналы во II стандартном отведении в норме (сверху) и при АВ блокаде 1-й степени (снизу)

Для оценки адекватности разработанной модели были рассчитаны ЭКГ-сигналы II стандартного отведения (рис. 1, б) и сопоставлены с реальными ЭКГ-сигналами, в норме и при моделируемых патологиях [2].

Сравнение типовых реальных и моделируемых ЭКГ-сигналов показало адекватность моделирования работы проводящей системы сердца в норме и при всех моделируемых патологиях.

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.

Д.С. Гомзин, студ.; рук. М.Н. Крамм, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО ЖИЛЕТА

С целью сокращения времени проведения процедуры съема электрокардиосигналов (ЭКС), а также для повышения точности врачебного обследования был разработан ряд прототипов электрокардиографических жилетов с разным количеством и расположением предустановленных электродов. Также в ходе работы, с целью улучшения прилегания жилета к торсу, доработана система фиксации жилета. Крайняя версия жилета ориентирована на 50 монополярных отведений (рис. 1), т.е. имеет вдвое больше электродов, чем предыдущая версия. Увеличение числа электродов влечет за собой уменьшение интервалов пространственной дискретизации в распределении потенциала на поверхности торса, а, значит, увеличение качества получаемой диагностической информации [1], что в совокупности с разработанным программным обеспечением позволяет получать распределения потенциалов по торсу человека с большим разрешением, чем у предыдущих моделей (рис. 2).



Рис. 1. Вид жилета

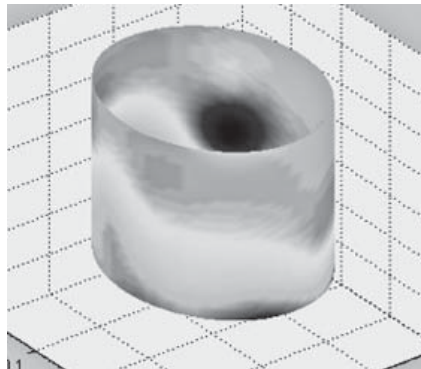


Рис. 2. Распределение потенциалов на торсе

Применение многоэлектродного жилета позволяет уменьшить время проведения съема электрокардиосигналов (ЭКС) для задач пространственного картирования потенциалов сердца; время, затрачиваемое на запись сигналов сопоставимо со временем записи обычной кардиограммы. Жилет обеспечивает удобство, как для пациента, так и для оператора

Литература

1. Крамм М.Н. Эквивалентный электрический генератор сердца для неинвазивной электрокардиодиагностики // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. — 2020. №. 2 (32) С. 65–71.

Ю.С. Данилкина, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.н.т., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОТОТИП ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ ПО ИНТЕРФЕЙСУ WI-FI

Электрокардиография — это основной показатель жизнеспособности человека. В настоящей работе рассматривается создание портативного электрокардиографа на основе микросхемы Analog Devices AD8232 [1] и микроконтроллера Espressif Systems ESP32 [2] с передачей данных по интерфейсу Wi-Fi.

Микросхема AD8232 (Analog Devices) предназначена для мониторинга сердечного ритма. Микросхема имеет три электрода для снятия биопотенциалов. Электроды располагаются на правой руке, на левой руке, на левой ноге. Данное расположение электродов значительно упрощает самостоятельное размещение их на теле. В составе AD8232 содержится фильтр верхних частот, который устраняет шумы, возникшие при снятии электрокардиограммы. Для экономии места и стоимости фильтр соединен с операционным усилителем непосредственно в микросхеме. Операционный усилитель позволяет создать фильтр нижних частот для удаления дополнительных шумов. Обмен данными с микроконтроллером осуществляется по интерфейсу I2C.

Микроконтроллер ESP32 представляет собой доступную и мощную платформу для создания умных устройств интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT) с поддержкой современных беспроводных интерфейсов. Микросхема ESP32 представляет собой систему на кристалле с Wi-Fi и Bluetooth радиомодулями. Питание устройства осуществляется от встроенного аккумулятора. Программирование модуля ESP32 осуществлялось в среде Arduino IDE с подключением дополнения arduino-esp32 [3].

Для демонстрации ЭКГ в режиме реального времени используется приложение для отображения аналоговых сигналов. Это приложение предназначено для умных IoT-проектов. В приложении генерируется уникальный токен, благодаря этому все данные надёжно защищены. Приложение может быть установлено как на смартфон, так и на ПК.

В дальнейшем планируется заменить модуль для снятия ЭКГ на более точный и мощный, это требуется для повышения информативности ЭКГ.

Литература

1. AD8232 Техническое описание и информация о продукте | Analog Devices. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analog.com/ru/products/ad8232.html>.
2. Espressif systems — Wi-Fi and bluetooth chipsets and solutions. [Электронный ресурс]. URL: <http://espressif.com>.
3. GitHub — espressif/arduino-esp32: Arduino core for the ESP32. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/espressif/arduino-esp32>

Т.Б. Мишенина, студ.; рук. Я.А. Куприянова, асс. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ПАРАМЕТРА РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

Лечение и диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС) являются одной из важных задач медицины на сегодняшний день. Для повышения информативности и чувствительности обследования ССС используется обратная задача ЭКГ. В ходе решения обратной задачи ЭКГ проводится реконструкция распределения поверхностных токовых источников сердца по потенциалам, снятым на поверхности грудной клетки. В работе используется алгебраический алгоритм, позволяющий получать реконструированные значения распределений токовых источников в виде простого γ и двойного D слоев.

Значимым параметром, влияющим на качество реконструкции, является параметр регуляризации α_a . В данной работе качество реконструкции оценивается по коэффициенту корреляции Пирсона, используя рассчитанные и реконструированные значения. Для повышения точности работы алгебраического алгоритма, необходимо выбрать такое α_a , при которых качество реконструкции будет наилучшим.

Для реализации вышеуказанной цели был разработан алгоритм, позволяющий более точно подбирать α_a из рассчитанного диапазона, при котором результат реконструкции имеет наилучшие значения коэффициента корреляции для данного интервала времени одиночного кардиоцикла (P -зубец, QRS -комплекс, T -зубец), для простого и двойного слоев с последующим достижением максимально возможного в данный момент времени коэффициента корреляции (таблица 1).

Таблица 1. Значения коэффициента регуляризации α_a

| Параметр α_a | Реконструкция | | | | | |
|---------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|-----------|-------------------|
| | γ | D | γ | D | γ | D |
| Минимум | 10^{-9} | $2 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-10} | $1 \cdot 10^{-5}$ | 10^{-8} | $5 \cdot 10^{-5}$ |
| Максимум | 10^{-8} | $1 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-9} | $7 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-7} | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Кардиоцикл | P-зубец | | QRS-комплекс | | T-зубец | |

Таким образом, в работе был проведен анализ результатов реконструкции и даны рекомендации по выбору значений коэффициента регуляризации при реконструкции распределений простого и двойного слоев эквивалентных токовых источников с учетом времени интервалов кардиоцикла.

Литература

1. Куприянова Я.А., Жихарева Г.В., Мишенина Т.Б., Куропаткин С.А. Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии // 14-я международная научная конференция ФРЭМЭ'2020 — Владимир-Суздаль. Доклады. Книга 1.

Н. Смаилов, студ.; рук. М.Н. Крамм, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПА ДЫХАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ РИТМАМИ СЕРДЦА И ДЫХАНИЯ

Анализ корреляционных связей между ритмами сердца и дыхания актуален при оценке уровня эмоционального стресса у человека. При обработке респираторных сигналов (сигналов датчика дыхания) возникают сложности в процессе их фильтрации. Причина этому — медленный характер колебаний респираторного сигнала при наличии более быстро меняющихся помех. С целью выделения моментов начала фазы вдохов и выдохов используется цифровой дифференциальный фильтр [1]. Поскольку устанавливаемые в программе параметры фильтра зависят от темпа дыхания, актуальным является вопрос об автоматическом определении темпа дыхания. Из-за особенностей обрабатываемого сигнала (различия в форме и частоте), необходимо корректно детектировать его максимумы.

В ходе данной работы для определения темпа дыхания предложен алгоритм обнаружения пиковых значений сигналов. Предварительно отфильтрованная с помощью ФНЧ запись сигнала дыхания укорачивается, после чего устанавливается минимальный порог обнаружения. Удаляются моменты пиков, дающие интервалы длительностью меньше 20% от максимальной. Далее определяются количество пиков и интервалы между вдохами. Результаты работы алгоритма можно увидеть на рисунках 1 и 2.

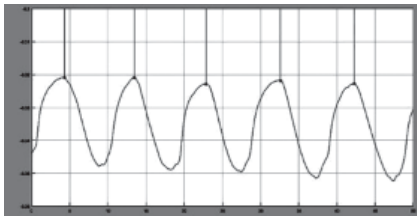


Рис. 1. Обнаружение пиковых значений для медленного темпа дыхания

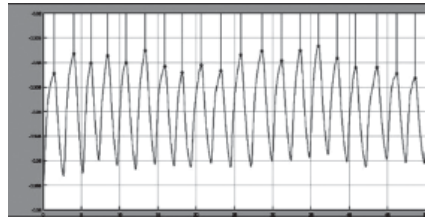


Рис. 2. Обнаружение пиковых значений для быстрого темпа дыхания

Результаты тестов на различных записях дыхания показывают практически безошибочное определение отсчётов дыхания. Усреднённое значение интервалов между вдохами можно использовать для установки параметров дифференциального фильтра.

Литература

1. **Н. Смаилов, М.Н. Крамм** Анализ корреляционных связей между ритмами сердца и дыхания. Тезисы докладов. Радиоэлектроника и энергетика. XXVII МНТК студентов и аспирантов. МОСКВА НИУ «МЭИ» 2021.

А.М. Иванов, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

БЕСПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ

Настоящая работа посвящена разработке беспроводного электрокардиографа, снимающего 3 отведения ЭКГ (электрокардиограмма) для применения в качестве лабораторного стенда.

Данное устройство состоит из платформы Arduino MEGA 2560 (основная плата управления), микросхемы для снятия биопотенциалов ADS1293 [1], модуля Bluetooth для передачи данных об ЭКГ на ПК (персональный компьютер) и перезаряжаемого аккумулятора. Время работы разработанного устройства составляет около 2.5 часов при непрерывном снятии ЭКГ, а стоимость комплектующих составляет около 6 тысяч рублей.

Также проектируется прототип электрокардиографа, выполненный на единой печатной плате и состоящий из микроконтроллера с соответствующей обвязкой и разъемов для подключения модуля ЭКГ и передачи данных.

Для функционирования устройства написан код на языке C++, загружаемый в управляющую плату. Программа позволяет считать данные об отведениях с ADS1293 и передавать в последовательный порт, а оттуда по модулю Bluetooth на ПК. Данное ПО имеет открытый исходный код и может быть модифицировано.

Для отображения ЭКГ на ПК разработана программа в инженерной среде MATLAB, предоставляющей потенциально большие возможности для анализа данных ЭКГ-сигнала. Вокруг MATLAB существует большое сообщество инженеров и ученых, программа обладает качественной технической поддержкой. В данной работе в MATLAB [2] разработан алгоритм приема бинарных данных по Bluetooth, написан код для вывода отведений в графическом виде на экран компьютера. В дополнение к этому, создана возможность построения графиков отведений из предварительно записанного файла с ЭКГ. Это позволяет проводить более качественную отладку программы и сравнивать данные, поступающие в реальном времени с записанными. Также реализовано построение ритмограммы по моделированному кардиосигналу.

Разработанное устройство качественно функционирует и имеет потенциал для использования в качестве лабораторного стенда.

Литература

1. **Руководство пользователя ADS1293 Low-Power, 3-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements datasheet (Rev. C).** Data Sheet — США, Texas Instruments, 2014 г.
2. **Дьяконов В.П.** MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. М.: ДМК, 2017.

В.А. Сарибекян, студ.; рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОГРАММА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ТЕРМОГРАММЫ С ТЕПЛОВИЗИОННОГО ДАТЧИКА MLX90640

Быстрое выявление и изоляция потенциально инфицированных людей служат эффективным средством предотвращения вспышек инфекционных заболеваний. Повышенная температура в подавляющем большинстве случаев однозначно свидетельствует о наличии той или иной вирусной инфекции. Поэтому поиск быстрого, простого, бесконтактного, неинвазивного и надежного метода выявления повышенной температуры тела у людей в современном мире является одной из важнейших задач. Технология инфракрасной термографии, применяемая в переносных и стационарных тепловизорах, может являться таким методом.

В настоящей работе рассматривается составление программы получения термограммы с тепловизионного датчика MLX90640 в составе портативного тепловизора в режиме реального времени и ее совмещение с телевизионным изображением. В программе предусмотрены функции распознавания лиц, обнаружение целевой области измерения — области слезного канала (внутренней части глаза), как наиболее информативной части лица [1], а также классификатор, который относит измеренную температуру к группе «норма» или к группе «риск». Вывод полученной термограммы в режиме реального времени производится на дисплей устройства. Также для удобства обработки информации предусмотрена передача данных по модулю Wi-Fi с устройства на персональный компьютер, смартфон или планшетный компьютер. Программа позволяет производить обследование больших групп людей, обнаруживать людей с повышенной температурой тела в режиме реального времени, сохранять данные наблюдений.

Преимуществами использования гибридного термографа для измерения температуры являются скорость измерения, минимум ложных срабатываний (благодаря измерению температуры информативной части лица), работа с большим потоком людей, отсутствие прямого контакта.

Устройство с разработанной программой может быть использовано для проведения лабораторных работ по курсу «Медицинские приборы» на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. **Покровский В.М., Коротько Г.Ф., Наточин Ю.В. и др.** Физиология человека. — М.: Медицина, 1997. 368 с.

*Ю.А. Захарова, А.А. Миронова, студенты;
рук. Т.В. Истомина, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИНВАЛИДОВ-КОЛЯСОЧНИКОВ

Для адекватной оценки функционального состояния пациента необходим выбор системы психофизиологических показателей. Для этого были выбраны следующие физиологические показатели: ЧСС, АД, ЧД, ЭКГ, ЭМГ и уровень глюкозы. Анализ современных средств мониторинга показал, что из системы параметров можно исключить частоту дыхания, т.к. она коррелирует с частотой сердечных сокращений [1]. Также можно исключить непрерывный контроль уровня глюкозы, т.к. точная датчиковая аппаратура для мониторинга этого параметра отсутствует. Непрерывное наблюдение за ЭКГ в рамках поставленных задач целесообразно заменить контролем ЧСС. А для мониторинга пациентов с нарушениями нервно-мышечного аппарата анализ ЭЭГ по сравнению с ЭМГ более информативен [2].

Предлагается следующая система критических параметров: 1) Изменение ЧСС более, чем на 35% за каждые 20 секунд; 2) Максимальный разброс амплитуд по одному из отведений ЭЭГ; 3) Отклонение разности систолического и диастолического артериального давления более, чем на 25% за определенный временной интервал; 4) Максимальный разброс амплитуд по одному из отведений ЭМГ.

Если границы индивидуальной нормы пересекаются с критическими значениями, то приоритет дается индикации критических состояний.

Если границы индивидуальной нормы пересекаются с критическими значениями, то приоритет дается индикации критических состояний.

Также предлагается проводить синхронный удаленный врачебный контроль состояния одновременно нескольких инвалидов-колясочников, что позволит повысить эффективность дистанционного мониторинга.

Литература

1. Т.Т. Батышева, В.А. Шишвили, О.В. Квасова, Б.М. Бекберенов, И.Н. Пасхина, А.В. Бычкова, О.Н. Гудилина. Оценка функционального состояния детей и подростков с неврологической патологией с целью определения их возможностей для занятия физической культурой и спортом, 2016. — 24 с.
2. Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация / Сборник статей и тезисов Восьмой научно-практической конференции с международным участием / под ред. Войтенкова В.Б., Скрипченко Н.В. — 12–13 ноября 2020, СПб: ООО «Оборудование для нейрофизиологии и функциональной диагностики». — 146 с.

*А.Е. Смолин, студ., А.А. Храмцов, студ., А.Ю. Бодин, асп.;
рук. М.Н. Крамм, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО КОМПЛЕКТА ADS1298ECGFE-PDK В УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕЛЯХ

В данной работе рассматриваются способы применения в учебно-исследовательских целях демонстрационного комплекта ADS1298ECGFE-PDK совместно с предустановленным программным обеспечением [1]. Используемые в комплекте микросхема АЦП ADS1298 и микропроцессор MSP430 ориентированы на регистрацию электрокардиосигналов стандартных кардиоотведений совместно с персональным компьютером через порт USB. ADS1298 характеризуется важными параметрами: частота оцифровки — до 32 кГц, разрядность — 24 бита, число каналов — 8, отрицательная обратная связь через N-электрод, встроенный мультиплексор. Эти и другие параметры позволяют обеспечить высокое качество регистрации электрокардиосигналов.

Для учебных целей при постановке лабораторных работ на электродные входы комплекта можно подавать как тестирующие синусоидальные и импульсные сигналы, так и записанные ранее электрокардиосигналы от внешнего имитационного источника. В частности, с использованием комплекта предложена методика проведения следующих экспериментальных исследований электрокардиографов (ЭКГФ): а) проверка работоспособности электрокардиографов при добавлении электродного потенциала (постоянного или медленно меняющегося); б) частотные характеристики ЭКГФ; в) переходные характеристики ЭКГФ; г) коэффициент ослабления синфазного сигнала КОСС. При использовании генератора, имитирующего электрокардиосигналы человека, предложена методика анализа ЭКГ, включая: а) определение угла электрической оси сердца; б) анализ ритма сердца, кардиограмм и ритмограмм и т.д. для выявления аномалий электрической активности сердца и наглядной их демонстрации студентам. В перспективе такие исследования или их части можно будет включить в учебную программу «НИУ «МЭИ» в качестве лабораторных работ по курсам «Методы диагностических исследований» и «Медицинские приборы» для студентов, обучающихся по направлению «Биотехнические системы и технологии». В дальнейшем нашей целью является составление описаний лабораторных работ по тематике, связанной с исследованием ЭКГ и электрокардиографов, с использованием программно-аппаратного комплекта ADS1298ECGFE-PDK.

Литература

1. <https://www.ti.com/tool/ADS1298ECGFEPDK?keyMatch=ADS1298ECGFE-PDK>

А.А. Дергачев, Е.Н. Голубева, студ.; рук-ли. Е.В. Шалимова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ») Е.А. Северин, д.м.н., профессор («РУДН»)

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СТИМУЛЯТОРА С РАСШИРЕННЫМ ФУНКЦИОНАЛОМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ

Стимулятор нервно-мышечной активности — важный инструмент учебной и исследовательской деятельности в изучении возбудимых тканей. Лаборатория кафедры нормальной физиологии в РУДН, как и кафедры других медицинских учебных заведений, нуждается в таком оборудовании, поэтому разработка стимулятора является актуальной на сегодняшний день.

Классическим объектом исследования является нервно-мышечный препарат лягушки. Разработанный стимулятор должен оказывать местное и импульсное возбуждение на нервную и мышечную ткань [1].

Устройство является генератором сигналов с изменяемой частотой, амплитудой и формой [2]. Особенностью разрабатываемого устройства станет система индикации выходного напряжения и регулирование скорости нарастания фронта импульса по сравнению с уже существующими устройствами. Конечная цель — это создание более точного и дешевого устройства.

Параметры сигнала будут задаваться пользователем через органы управления, далее сигнал будет генерироваться с помощью ЦАП. Для индикации планируется использовать дисплей. Для контроля выходного напряжения вольтметра рассматривается цифровой вольтметр с высокой разрядностью. Благодаря этому можно будет проводить опыты по исследованию физиологического электротона [3]. Корпус прибора планируется сделать посредством FDM печати. Питания устройства будет осуществляться через стабилизатор напряжения от адаптера 12 В или аккумулятора. Выходное напряжение будет сниматься через электроды.

Литература

4. **И.Ю. Мышкин, О.А. Ботягова и др.** ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ // Ярославль 1998.
5. **В.Г. Каргашев, Е.В. Шалимова** КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ по курсам «Радиотехнические цепи и сигналы» «Цепи и сигналы в медицинской электронике» // Москва 2017 НИУ «МЭИ».
6. **В.И. Кузнецов, А.П. Божко, и др.** НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ Курс лекций для студентов лечебно-профилактических и стоматологических факультетов медицинских вузов // ВИТЕБСК 2017.

Н.И. Исакова, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ СРЕЗОВ

Накопление большого количества цифровых гистопатологических изображений привело к увеличению спроса на их анализ, такой как компьютерная диагностика с использованием методов машинного обучения. Ранее выявлением патологий занимался врач, изучающий образец на предметном стекле под микроскопом. В последние годы были предприняты попытки сканирования всего слайда и сохранения его как цифрового изображения.

Цифровой анализ гистологических изображений часто использует в качестве основы общую технологию распознавания изображений (например, распознавание лиц). Однако, поскольку цифровые гистологические изображения и задачи их анализа обладают некоторыми уникальными характеристиками, часто требуются специальные методы обработки [1].

Целью работы является определение основных характеристик раковых клеток для создания алгоритма их определения на цифровых изображениях гистологических срезов, а также последующего анализа с использованием методов математического анализа и алгоритмов машинного обучения. В качестве среды программирования был выбран пакет прикладных программ MatLab. Объектом изучения выступают раковые клетки молочной железы, поскольку данный вид онкологии является самым распространенным.

Для предварительной обработки изображения применяется вейвлет-анализ, устраняющий шумы и случайные искажения. В качестве обучаемой сети применяется двойной вейвлет-нейрон [2].

Достоинствами данного алгоритма являются широкие возможности его применения. Разработанный алгоритм может быть использован для проведения лабораторных работ по курсу «Медицинские приборы» на кафедре Основ радиотехники НИУ «МЭИ» для обучающихся по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. **Komura D., Ishikawa S.** Machine Learning Methods for Histopathological Image Analysis. Department of Genomic Pathology, Medical Research Institute, Tokyo Medical and Dental University, Tokyo, Japan, 2018. — 42 p.
2. **Бодянский Е.В.** Двойной вейвлет-нейрон: треугольные активационные функции, архитектура, обучение / Е.В. Бодянский, О.А. Винокурова // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий науково-технічний збірник. — 2006. — № 9(29). — С. 16–22.

*А.Н. Спиркин асп. (ПГУ, Пенза);
рук. А.А. Белоглазов к.т.н. (МГГЭУ, Москва)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКОЙ С ПОМОЩЬЮ РЕЧЕВОГО ИНТЕРФЕЙСА

В повседневной жизни мы выполняем тысячи действий, кажущиеся нам естественными и простыми. Однако никто из нас не застрахован от ситуации, в которой движение нам может быть недоступно. Поэтому особо важной задачей становится разработка систем, которые бы помогали инвалидам свободно передвигаться, и этим существенно улучшать их жизненный уровень. Существующие инвалидные коляски управляются с помощью кнопочного пульта и джойстика или с помощью ручного привода. Но такие способы управления не удобны для инвалидов с мышечной дистрофией и тяжелой формой ДЦП [1].

Целью данной работы является система управления инвалидной коляской. Предложенная система состоит из двух подсистем: блока голосового управления и исполнительного устройства, состоящего из сервоприводов. Блок голосового управления состоит из микроконтроллера Arduino Nano, звукового модуля MP3/WMA DFPlayer и модуля распознавания речи Elechouse Voice Recognition Module v3. Использование звукового модуля в системе управления позволяет проиставить настройку и организацию обратной связи.

Принцип работы системы управления инвалидной коляской заключается в следующем. От оператора через микрофон голосовой гарнитуры поступает заданная голосовая команда. С помощью модуля распознавания речи расшифровывается голосовая команда и определяется код управляющей команды. Для подтверждения правильности распознавания команды звуковой модуль формирует голосовое сообщение, которое поступает на наушники голосовой гарнитуры оператора. В случае правильного распознавания отдается команда на сервоприводы исполнительного устройства, в противном случае операция по распознаванию команды повторяется. Каждой звуковой команде соответствует свое управляющее воздействие в исполнительном устройстве.

Достоинствами предложенной системы является ее универсальность, т.е. возможность установки на любое существующее инвалидное кресло с электрическим приводом, без существенных изменений конструкции, и невысокая стоимость реализации.

Литература

1. **Ахутин В.М.** Бионические аспекты синтеза биотехнических систем. М.: Советское радио, 2016.

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

В.А. Таранчук, студ., А.А. Амосов, д.ф.-м.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПОТОКА

Данная работа посвящена математическому моделированию мелкодисперсионного потока жидкости [1–4]. Построена математическая модель этого явления, основанная на разбиении капель на группы. Искомыми характеристиками являются плотности числа частиц и скорости движения капель в зависимости от расстояния до источника их появления.

Предложен численный метод решения задачи, проведена его программная реализация и выполнена серия вычислительных экспериментов, позволяющая сделать ряд выводов о свойствах рассматриваемого процесса.

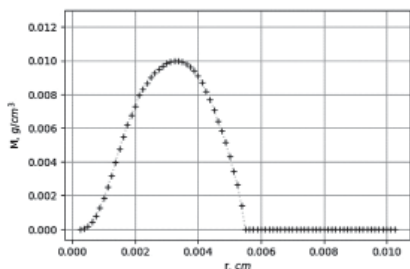


Рис. 1. Распределение плотности масс частиц при вылете из форсунки

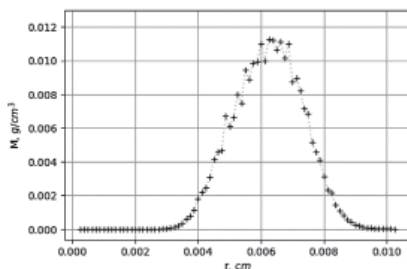


Рис. 2. Распределение плотности масс частиц на расстоянии 20 см от форсунки

Результаты экспериментов представлены с помощью графической и численной информации. В основе используемой математической модели лежат физические законы сохранения массы и импульса частиц при их коагуляции — объединении сталкивающихся частиц в более крупные.

Исследование выполнено за счет гранта РФФ (проект №19-11-00033).

Литература

1. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. — М.: Энергоиздат, 1981. — 272 с.
2. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. — М.: Наука, 1978. — 336 с.
3. Исаченко В.П., Кушнырев В.И. Струйное охлаждение — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 111 с.
4. Ярошенко Ю.Г., Липунов Ю.И., Смаханов А.Б., Столярова М.В. Применение технологии водо-воздушного охлаждения для термической обработки подшипниковых колец. Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2018; 61(6):423–430.

М.В. Маслов, студ.; рук. И.В. Шевченко, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

БИБЛИОТЕКА ДЛЯ РАБОТЫ С ДЛИННЫМИ ЧИСЛАМИ

Использование графических процессоров для организации вычислений в различных прикладных и научных задачах стало обычной практикой. Так как основу решения многих задач составляют алгоритмы длинной арифметики, исследования в этой области не теряют своей актуальности.

Существует определенный набор программных средств для решения задач длинной арифметики. К таким можно отнести библиотеки GMP для универсальных процессоров, а также CGBN, XMP для графических процессоров. Однако, часто возникают нестандартные задачи, в которых предложенные ранее решения не всегда являются наиболее эффективными. Зачастую, специфические требования к программным реализациям алгоритмов диктуются свойствами решаемых задач — фактической длиной чисел, системой счисления и т.п.

Целью данного исследования является попытка реализовать свою библиотеку с базовыми алгебраическими операциями: сложение, вычитание, умножение (различными методами — столбиком [2], методом Карацубы [2] и др.), деление (методом в столбик и Бурникеля — Циглера [3]) и др.; сравнение эффективности собственной реализации с существующими аналогами; исследование разных подходов реализации операций. В качестве инструментов реализации выбраны языки C++ [1] и CUDA C [1].

Литература

1. **Боресков А.В.** Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. — Издательство МГУ Москва. — 2015.
2. **Brent R., Zimmermann P.** Modern Computer Arithmetic. New-York: Cambridge University Press, 2011. 239 p.
3. **Burnikel C., Ziegler J.** Fast Recursive Division. Frankfurt: Max Planck Institut For Informatik, 1998, 33 p.

И.В. Женькова, асп.; рук. М.Ф. Черепова, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ГЛАДКОСТЬ В ПРОСТРАНСТВЕ ДИНИ РЕШЕНИЯ ПЕРВОЙ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С НЕОГРАНИЧЕННОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ

Рассматривается область

$$\Omega = \{(x, t): x > g(t), 0 < t < T\}, 0 < T < +\infty,$$

где функция g удовлетворяет условию

$$|g(t + \Delta t) - g(t)| \leq C|\Delta t|^{1/2}\omega_g(|\Delta t|^{1/2}), t, t + \Delta t \in [0, T]$$

ω_g — модуль непрерывности, удовлетворяющий условию Дини.

В области Ω рассмотрим первую начально-краевую задачу:

$$\begin{aligned} u_t - a(x, t)u_{xx} + b(x, t)u_x + c(x, t)u &= f(x, t), (x, t) \in \Omega, \\ u(x, 0) &= 0, x \geq g(t), u(g(t), t) = \psi(t), \quad 0 \leq t \leq T. \end{aligned}$$

Предполагаем, что коэффициенты уравнения ограничены и равномерно непрерывны в Ω с модулем непрерывности, дважды удовлетворяющим условию Дини, а

$$\psi \in H_0^{1/2+\omega_\psi}([0, T])$$

где ω_ψ удовлетворяет условию Дини. Кроме того, предполагаем, что правая часть уравнения f непрерывна в Ω , локально Дини-непрерывна по x и удовлетворяет условию

$$|f(x, t)| \leq C \frac{\omega(t^{1/2})}{t^{1/2}}, (x, t) \in \Omega,$$

для некоторой постоянной $C > 0$ и некоторой функции типа модуля непрерывности ω . В частности, функция f может расти определенным образом при приближении к прямой $t=0$.

Доказаны оценки в пространстве Дини для решения задачи и его производной по пространственной переменной. В случае пространств Гельдера полученный результат следует из работы [2].

Работа выполнена в рамках исполнения государственного задания Минобрнауки РФ (проект FSWF-2020-0022).

Литература

1. **Baderko E.A., Cherepova M.F.** Bitsadze-Samarskii Problem for Parabolic Systems with Dini Continuous Coefficients. // Complex Variables and Elliptic Equations. 2019. Vol. 64. Issue 5. Pp. 753–765.
2. **Черепова М.Ф.** О некоторых свойствах параболического потенциала объемных масс. I // Дифференц. уравн., 1999, т. 35, № 12, с. 1701–1706.

*В.А. Хохлов, д.т.н., зав. каф. ЭГТС (НИУ «МЭИ»),
М.А. Разаков, ассистент (НИУ «МЭИ»),
Р.-Р. В. Разакова, аспирант 2 курса (НИУ «МГСУ»)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОГРАММЕ «FUSIONCOMP»

Метод конечно-элементного моделирования основан на концепции замены реальной непрерывной конструкции эквивалентной моделью, составленной из дискретных структурных элементов, имеющих известные упругие и инерционные свойства, выражаемые в матричной форме. Алгоритм работы программы прочностного анализа «FusionComp» создан на основе метода конечных элементов в среде MATLAB [1]. Программа представляет собой инструмент для быстрого и точного анализа поведения конструкций, выполненных из сложных композиционных материалов, как в статических, так и в динамических условиях нагружения. В первую очередь программа предназначена для: 1) определения физико-механических свойств материалов по нескольким теориям; 2) применения в проектировании элементов конструкций из композитов с настраиваемыми параметрами; 3) моделирования напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкции. Кроме того, разработчиками обсуждаются следующие этапы развития программы: преобразование структурного синтеза программы, внедрение способов учета нелинейных эффектов материала (в том числе нелинейной упругости, ползучести и т.п.) и влияние этих особенностей материалов на потерю устойчивости. Развитие численного моделирования конструкции со сложной композитной структурой является актуальной задачей современности, требующей коллаборации нескольких научных и производственных отраслей.

Литература

1. **Разакова Р.В.** Программа прочностного анализа элементов конструкции из композиционных материалов «FusionComp 1.0» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662762 Российская Федерация; опубл. 23.08.2021.

Н.П. Кочетова, студ.;
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМЫ, ИМЕЮЩИЕ СТРУКТУРУ СОВМЕЩЕННОЙ КОМБИНАТОРНОЙ БЛОК-СХЕМЫ

Рассматривается вид комбинаторных блок-схем, образующихся совмещением некоторой комбинаторной блок-схемы и соответствующего ей двойственного аналога, а также их применение для моделирования различного рода систем.

Комбинаторная схема [1] состоит из множества элементов V , $|V| = v$, и множества блоков B , $|B| = b$, содержащих по k элементов из множества V . Множество дуальных блоков D состоит из блоков, каждый из которых содержит r блоков, включающих соответствующий ему элемент.

Элементы множеств V , B и D пронумерованы целыми числами от 0 до $v-1$. В числовой интерпретации блок содержит номера элементов, входящих в него, дуальный блок содержит номера блоков, содержащих элемент с номером этого дуального блока.

Совмещенная блок-схема образуется следующим образом:

- Множество элементов V_c , $|V_c| = bk$, образовано парами чисел (<номер блока>, <номер дуального блока>);
- Блоки $A_i = \{(i, s), s — элемент i\text{-го блока}\}$;
- Дуальные блоки $C_j = \{(g, j), g — элемент j\text{-го дуального блока}\}$;

Пример: Совмещенная проективная геометрия $CPG(2,2)$

$V_c = \{(0,0), (0,1), (0,5), (1,1), (1,2), (1,6), (2,2), (2,3), (2,0), (3,3), (3,4), (3,1), (4,4), (4,5), (4,2), (5,5), (5,6), (5,3), (6,6), (6,0), (6,4)\}$.

$A = \{[(0,0),(0,1),(0,5)], [(1,1),(1,2),(1,6)], [(2,2),(2,3),(2,0)], [(3,3),(3,4),(3,1)], [(4,4),(4,5),(4,2)], [(5,5),(5,6),(5,3)], [(6,6),(6,0),(6,4)]\}$.

$C = \{[(0,0),(6,0),(2,0)], [(1,1),(0,1),(3,1)], [(2,2),(1,2),(4,2)], [(3,3),(2,3),(5,3)], [(4,4),(3,4),(6,4)], [(5,5),(4,5),(0,5)], [(6,6),(5,6),(1,6)]\}$.

В интерпретации компьютерной сети V_c соответствует компьютерам, объединенным в узлы A , и входящим во внешние полно связные сети C . В интерпретации системы ключей V_c — ключевой пул, A — списки номеров ключей, назначаемых узлам, C — списки номеров узлов, в которых находится ключ с номером дуального блока. Отсутствие определенной компоненты идентификатора элемента отражает возможное исключение отдельных элементов или связей между ними.

Соответствующая компьютерная программа применена для моделирования маршрутизации в вычислительной сети с учетом ограничений.

Литература

1. Холл М. Комбинаторика. — М.: Мир. 1070.

А.Д. Белоусова, студ. ;
рук. А.Е. Вестфальский, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕВИЗИЯ АЛГОРИТМОВ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ ГРАММА-ШМИДТА НА СОВРЕМЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Процедура ортогонализации Грамма-Шмидта предназначена для преобразования произвольной линейно независимой системы векторов в ортонормированную. Она является составной частью многих алгоритмов решения линейных систем, линейного программирования и других прикладных задач.

В литературе, как правило, описываются [1] два способа программной реализации процедуры — классический и модифицированный алгоритмы, которые существенно отличаются с точки зрения устойчивости. В данной работе предложен новый вариант изменения классической процедуры Грамма-Шмидта, в результате которого вычислительный процесс также становится устойчивым.

Все три модификации отличаются структурой вложенных циклов, из-за чего изменяется порядок получения коэффициентов ортогонализации и изменения текущего вектора.

Классическим примером, демонстрирующим различие вычислительных свойств алгоритмов, является их использование для ортогонализации столбцов матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon \end{pmatrix},$$

где $\varepsilon = 10^{-8}$ —

величина, отличная от нуля и такая, что при возведении ее в квадрат получается ноль по меркам машинной арифметики. После применения классического алгоритма скалярное произведение второго и третьего векторов полученной «ортонормированной» системы равно 0,5, поэтому об устойчивости этого метода речи не идет. В то же время, модифицированный метод дает $1.11 \cdot 10^{-16}$ — число близкое к машинному нулю, следовательно, он устойчив.

Применение новой предложенной версии метода приводит к тому, что проверяемое скалярное произведение равно $-5.55 \cdot 10^{-17}$,

что близко к машинному нулю и также свидетельствует об устойчивости метода.

Проведенный массовый вычислительный эксперимент [2] подтверждает вычислительную устойчивость новой модификации, продемонстрированную на примере выше.

Литература

1. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. — М.: Мир, 1999.
2. Rice J. R. Experiments on Gram-Schmidt Orthogonalization. Math. Comp. 20(1966), 325–328.

А.И. Захарова, студ.; рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Рассматривается задача о потенциальной точности оценивания параметров при измерении только угловых координат объекта, находящегося в свободном движении. Наименее благоприятный для наблюдателя режим движения — это отсутствие изменения азимута, изменяется только угол места. Анализ проводится для параболического движения при плоской поверхности. Это упрощенная модель движения — измерения, но трудности в определении оценок некоторых важных параметров при этом сохраняются. Среди разработчиков систем обработки траекторных измерений существует представление о том, что по угловым измерениям такие параметры, как координаты и момент приземления, невозможно получить с практически интересной точностью. Однако, некоторые оценки говорят о том, что существуют условия, при которых можно получить нужную точность, а именно, если траектория такова, что точка падения находится в некоторой окрестности наблюдателя. Цель работы — количественно проанализировать условия (а именно, параметры орбит, точность и частота измерений, расстояние до точки приземления), при которых достижимы практически интересные точности. Нас интересует потенциальная точность следующих параметров: момента t приземления, смещения Δ относительно наблюдателя и, во вторую очередь, V_x -горизонтальной скорости. Предполагается, что основным источником погрешностей определения параметров являются случайные ошибки измерений углов, поэтому задача является статистической. Для ее решения модель движения — измерения была записана в терминах параметров, отличных от традиционных: вместо координат наблюдателя, угла вылета, скорости, координаты точки пуска использованы момент приземления, смещение и горизонтальная скорость; эти же параметры определяют закон распределения всей совокупности измерений. Далее используем информационные оценки, основанные на вычислении матрицы Фишера. Результаты расчетов приведены в виде таблиц значений нижних границ для стандартных ошибок и в виде графиков. В заключении отметим, что результаты работы могут быть использованы инженерами при создании угломерных систем обработки траекторных наблюдений.

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.

К.С. Михель, студ.; рук. Ю.А. Горицкий, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Задача оценивания параметров орбит по угловым измерениям не является новой, однако, с изменением технических средств измерения, требований к точности и вычислительных возможностей, задача приобретает различные особенности. В частности, актуальна ситуация пассивной радиолокации, высокой частоты измерений, и высоких требований к точности определения расстояния Δ до точки и момента t приземления.

На практике особо выделяют класс траекторий, направленных в сторону наблюдателя, для которых весьма характерными являются малые изменения азимута. В этих случаях задачу можно приближенно считать двумерной, а единственным источником информации — измерения угла места. Ситуации с малыми изменениями азимута интересны также тем, что они наименее благоприятны для оценки параметров движения, и потому их анализ может служить ориентиром для использования угловых измерительных систем.

Известно также, что информация о координатах и моменте приземления содержится в наблюдениях, сделанных при снижении высоты, когда движение происходит под действием постоянного ускорения. Получаем модель: движение происходит в плоскости по параболе, и из точки наблюдения через равные промежутки времени со случайной ошибкой измеряется угол места.

По имеющимся наблюдениям нужно построить оценки неизвестных параметров (т.е. алгоритм обработки наблюдений), промоделировать систему измерения–наблюдения–обработки, и получить моделированием (в виде таблиц и графиков) характеристики точности при различных орбитах.

Существенно, что при описании процесса «движение–измерение» и, соответственно, измерительной информации, в работе используются интересующие нас параметры: момент приземления t и смещение Δ до точки приземления.

Для трёх моментов времени $t - \Delta t$, t , $t + \Delta t$ (Δt — дискретность измерений) имеем три значения углов места, как функции трех параметров: Δ , t и третьего — вспомогательного. Полученная нелинейная система из трёх уравнений с тремя неизвестными сводится к квадратному уравнению относительно момента t ; получаем в результате оценки параметров Δ и t по трём наблюдениям. Берем m таких троек ($t - k\Delta t$, t , $t + k\Delta t$) моментов времени, $k = 1, \dots, m$; всего наблюдений $2m + 1$. Получаем m оценок двумерного параметра (Δ , t). Если предположить, что один единственный угол из $2m + 1$ измерений (угол в момент t), измерен абсолютно точно, то m полученных оценок независимы. Далее решается задача грамотного усреднения их для получения общей оценки.

Проведено моделирование, характеристики точности получают статистическими испытаниями. Приводятся таблицы и графики по точности оценок в широком диапазоне скоростей и углов падения. Результаты показывают, что по угловым измерениям возможно получение практически интересных точностей.

Л.В. Провоторова, студ.;
 рук. Ю.А. Дубинский, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОДНОЙ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ТЕОРИИ ПОЛЯ

Пусть $G \subset \mathbb{R}^2$ — некоторая область с границей Γ . Рассматривается нелокальная краевая задача:

$$\begin{cases} -\Delta u(x) = h(x), x \in G & (1) \\ \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, \tau) d\gamma = 0, & (2), \\ \frac{\partial u}{\partial n}|_{\Gamma} = \alpha \tau(\gamma), \gamma \in \Gamma & (3) \end{cases}$$

где $\tau = (\tau_1, \tau_2)$ — касательный вектор к границе Γ . В этой задаче $u(x) = (u_1(x), u_2(x))$ и $\alpha \in \mathbb{R}^1$ — искомые величины, $h(x)$ — заданная вектор-функция.

Будем искать обобщенное (слабое) решение поставленной задачи, то есть интегральное тождество, эквивалентное задаче (1)–(3). С этой целью проверим, что задача (1)–(3) эквивалентна интегральному тождеству:

$$\int_G (\nabla u, \nabla v) dx - \alpha \int_{\Gamma} (\tau, v|_{\Gamma}) d\gamma = \int_G (h, v) dx \quad (4),$$

где $u(x) \in W_2^1(G)$, удовлетворяющая условию (2), а пробные функции $v(x) \in W_2^1(G)$ произвольны.

Определим пространство функций $u(x) \in W_2^1(G)$, удовлетворяющих условию (2):

$$W_{2,L_2}^1\text{-norm} = \left\{ u(x) \in W_2^1(G) \mid \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, \tau) d\gamma = 0 \right\}$$

Получим следующую основную теорему:

Теорема.

Для $\forall h(x) \in L_2(G)$: $\int_G h(x) dx = 0$, существует единственное слабое решение $(u(x), \alpha)$, $u(x) \in W_{2,L_2}^1\text{-norm}$, α — число, задачи (1)–(3).

Доказательство теоремы проводится в несколько шагов:

- 1) построение приближенное решение при помощи метода Галеркина;
- 2) предельный переход;
- 3) определение и доказательство единственности слабого решения.

Литература

1. Дубинский Ю.А. О ядрах функционалов следа и граничных задачах теории поля.
2. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа. / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин — М.: Наука, 1976.

А.О. Клягин, студент;
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

СИНТЕЗ ДУАЛЬНЫХ БЛОКОВ АЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЕКТИВНЫХ ГЕОМЕТРИЙ РАЗМЕРНОСТИ ТРИ

Дуальные блоки ациклической проективной геометрии $PG(3,n)$ размерности три и порядка n соответствуют ее элементам. Такой блок образуется блоками, содержащими соответствующий ему элемент. Для построения дуального блока используются базисы входящих в него блоков.

Для построения дуального блока $PG(3,n)$ нужно построить базисы блоков $PG(2,n)$, они описаны в [2]. Построение различается для дуальных блоков с номерами меньшими или большими и равными n^2+n+1 , n -степень простого числа и порядок ациклической проективной геометрии. Для первых построение строится включением номеров блоков $PG(3,n)$, линейная комбинация элементов базисов блоков $PG(2,n)$, которых равняется номеру дуального блока в алгебраической нотации [2]. При этом в каждом таком дуальном блоке должен присутствовать 0. Для оставшихся добавляются номера блоков, линейная комбинация базисных элементов блоков $PG(2,n)$, которых, и номера дуального блока в алгебраической нотации, равняется недостающему элементу базиса этого блока $PG(3,n)$.

Пример. Построим дуальный блок с номером 0 ациклической $PG(3,2)$, Используются в формате (<номер блока>, <базис>) базисы блоков $PG(2,2)$: $((0,(1,01)), (1,(1,001)), (2,(1,011)), (3,(01,001)), (4,(01,101)), (5,(11,001)), (6,(11,101)))$ и $PG(3,2)$ [2]: $((0,(1,01,001)), (1,(1,01,0001)), (2,(1,01,0011)), (3,(1,001,0001)), (4,(1,001,0101)), (5,(1,011,0001)), (6,(1,011,0101)), (7,(01,001,0001)), (8,(01,001,1001)), (9,(01,101,0001)), (10,(01,101,1001)), (11,(11,001,0001)), (12,(11,001,1001)), (13,(11,101,0001)), (14,(11,101,1001)))$. Номер 0 искомого дуального блока в алгебраической нотации представляется как (1) и является линейными комбинациями элементов базисов блоков $PG(2,2)$ с номерами 0,1,2: $(1)*1+(01)*0=(1)$, $(1)*1+(001)*0=(1)$, $(1)*1+(011)*0=(1)$. Эти базисы входят в базисы блоков $PG(3,n)$: $(0,(1,01))$ в $(0,(1,01,001))$, $(1,(1,01,0001))$, $(2,(1,01,0011))$; $(1,(1,001))$ в $(3,(1,001,0001))$, $(4,(1,001,0101))$; $(2,(1,011))$ в $(5,(1,011,0001))$, $(6,(1,011,0101))$. Значит, дуальный блок $PG(3,n)$ с номером 0 содержит ее блоки с номерами 0–6.

Литература

1. Холл М. Комбинаторика. — М.: Мир. 1070.
2. Клягин А.О., Кочетова Н.П. Темников Д.Ю., Фролов А.Б. О синтезе систем, имеющих структуру комбинаторной блок-схемы. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2021. Т. 4. № 4. — С. 84–93 с.

*И.В. Бацеко, Д.И. Внуков, М.А. Дедова, студенты;
рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)*

ТЕСТИРОВАНИЕ ОДНОЙ СХЕМЫ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ

Гомоморфное шифрование обладает тем свойством, что вычисления над открытыми данными соответствуют вычисления над их криптограммами с получением криптограммы результата вычислений над открытыми данными. Известные криптосистемы гомоморфные по операции умножения или операции сложения. В [1] впервые описана криптосистема, гомоморфная по операциям сложения (\oplus) и умножения (\wedge) в $GF(2)$.

Ключом является целое нечетное число $p > 2N$. Криптограммой бита b является число $c = B(b) + pk$, где $B = (2x + b)$, $B \equiv b \pmod{2}$, x есть случайное целое $x \in (-N/2, N/2)$, k — целое. Расшифрование: $b \leftarrow (c \bmod p) \bmod 2$, где $(c \bmod p) \in (-p/2, p/2) \subset [-N/2, N/2]$.

Однако расшифровка работала бы правильно, если бы $b + 2x \in (-p/2, p/2)$.

Расшифрование суммы криптограмм:

$c \leftarrow c_1 + c_2 = b_1 + b_2 + 2(x_1 + x_2) + (k_1 + k_2)p$ $b_1 + b_2 + 2x + kp$ раскрывает $b_1 \oplus b_2$ при условии $(b_1 + 2x_1) + (b_2 + 2x_2) \in [-N, N]$.

Расшифрование произведения криптограмм:

$c \leftarrow c_1 \cdot c_2 = b_1 \cdot b_2 + 2(b_1 \cdot x_2 + b_2 \cdot x_1 + 2x \cdot x_2) + kp$ $b_1 \cdot b_2 + 2x + kp$ работает правильно всякий раз, когда $(b_1 + 2x_1) \cdot (b_2 + 2x_2) \in [-N, N]$.

Рассматриваются ограничения выбора параметра x : $B_i \equiv b \pmod{2}$, $B_i \in (0, p/4)$, $B_i \in (0, \sqrt{p}/4)$, $i=1,2$, где $\sqrt{}$ — функция целой части квадратного корня. В таблице приведены данные об их влиянии на гомоморфизм по \oplus и/или \wedge . (%) — это процент положительных тестов.

Таблица данных об их влиянии на гомоморфизм

| Ограничение B | $B_1 + B_2 > N$ (%) | $B_1 B_2 > N$ (%) | Гомоморфизм \oplus (%) | Гомоморфизм \wedge (%) |
|--|---------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| - | 11.9 | 46.2 | 48.3 | 51.6 |
| $B \equiv b \pmod{2}$ | 72.8 | 95.4 | 74.7 | 54.3 |
| $B \equiv b \pmod{2}$ & $B < N/2$ | 0.0 | 83.2 | 100.0 | 58.8 |
| $B \equiv b \pmod{2}$ & $B < \sqrt{N}$ | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 |

Литература

- Craig Gent. A fully homomorphic encryption scheme.** [craig-thesis.pdf \(stanford.edu\)](http://craig-thesis.pdf.stanford.edu)
(дата последнего обращения 24.10.21)

А.А. Стасова, студ.;
 рук. Ю.А. Дубинский, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОДНОЙ НОРМАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ТЕОРИИ ПОЛЯ

В прямоугольной области $G \in \mathbb{R}^2$ с границей Γ рассматривается нелокальная краевая задача следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\Delta u(x) = h(x), x \in G \\ \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, n) d\gamma = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial n} |_{\Gamma} = \alpha n(\gamma), \gamma \in \Gamma, \alpha \in \mathbb{R}^1 \end{array} \right. \quad (1)$$

В данной задаче требуется найти функцию $u(x)$, $x \in G$ и число $\alpha \in \mathbb{R}^1$

Задача инвариантна относительно аддитивной постоянной в том смысле, что если пара $(u(x), \alpha)$, является решением задачи (1), то при $\forall c = (c_1, c_2)$, где $c_1 \in \mathbb{R}^1$, $c_2 \in \mathbb{R}^2$ и пара $(u(x) + c, \alpha)$, также является решением этой задачи.

Получена (эквивалентная классической постановке) обобщенная постановка задачи в подпространстве

$$W_{2, L_2-tang}^1(G) = \left\{ u(x) \in W_2^1(G) : \int_{\Gamma} (u|_{\Gamma}, n) d\gamma = 0 \right\}$$

В силу инвариантности задачи относительно аддитивной постоянной обобщенную постановку можно переформулировать для поиска слабого решения, имеющего нулевое среднее интегральное значение.

Основной результат работы — корректность поставленной задачи.

Далее рассматривается вопрос о корректности поставленной задачи. Показано, что вопрос корректности этой задачи сводится к вопросу справедливости соответствующего неравенства.

Формулируем и доказываем теорему о существовании и единственности слабого решения.

Формулировка теоремы:

Для любого $h(x) \in L_2(G)$ удовлетворяющего условию $\int_G h dx = 0$, существует единственное слабое решение

$$(u(x), \alpha), u(x) \in W_{2, L_2-tang}^1(G) \quad \alpha — \text{число задачи (1)}.$$

Доказательство теоремы о существовании и единственности слабого решения задачи разбито на несколько этапов.

На первом этапе доказательства задачи устанавливаем априорную оценку нормы решения поставленной задачи. Наличие данной оценки позволит установить разрешимость интегрального тождества, а также доказать единственность слабого решения.

На втором этапе строится приближенное решение при помощи метода Галёркина, тем самым устанавливается существование последовательности приближенных решений.

На третьем этапе производится предельный переход.

На четвертом, заключительном этапе, доказывается единственность функции $u(x)$ и числа α .

Литература

1. **Дубинский Ю.А.** О ядрах функционалов следа и граничных задачах теории поля на плоскости, 2020.
2. **Дубинский Ю.А.** О ядрах операторов следа и краевых задачах теории поля // Проблемы математического анализа: Выпуск 106. С., 2020.
3. **Колмогоров А.Н., Фомин С.В.** Элементы теории функций и функционального анализа // М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976.

Н.Е. Крымов, асп.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ СЛОЖНОГО ТЕПЛОБМЕНА В СИСТЕМЕ СТЕРЖНЕЙ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается аналог предложенной в [3] дискретной аппроксимация для случая стационарной задачи радиационно-кондуктивного теплообмена (1)–(5) в системе $G = \cup G_{i-1/2, j-1/2}$, состоящей из n^2 абсолютно черных стержней квадратного со стороной длины $\varepsilon = 1/n$, упакованных в квадратную коробку с границей Γ .

$$-\operatorname{div}(\nabla u) = 0, \quad x \in G_{i-1/2, j-1/2}, \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial x}(x_{i+1} - 0, y) + h(u(x_{i+1} - 0, y)) = h(u(x_{i+1} + 0, y)), \quad y \in \bigcup_{j=0}^{n-1} (y_j, y_{j+1}) \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial x}(x_i + 0, y) + h(u(x_i 0, y)) = h(u(x_i - 0, y)), \quad y \in \bigcup_{j=0}^{n-1} (y_j, y_{j+1}) \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial x}(x, y_{j+1} - 0) + h(u(x, y_{j+1} - 0)) = h(u(x, y_{j+1} - 0)), \quad x \in \bigcup_{i=0}^{n-1} (x_i, x_{i+1}) \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial x}(x, y_j + 0) + h(u(x, y_j + 0)) = h(u(x, y_j - 0)), \quad x \in \bigcup_{i=0}^{n-1} (x_i, x_{i+1}) \quad (5)$$

Здесь λ — коэффициент теплопроводности; $h(u) = \sigma_0 |u|^3$ и при $u > 0$ — плотность потока теплового излучения; σ_0 — постоянная Стефана-Больцмана.

Для дискретной аппроксимации задачи (1)–(5), представляющей из себя специальную систему линейных алгебраических уравнений относительно $h(U_{i-1/2, j-1/2})$, где $U_{i-1/2, j-1/2}$ — приближение к среднему значению температуры по сечению стержня $G_{i-1/2, j-1/2}$, получена оценка погрешности порядка $O(\sqrt{\varepsilon/\lambda})$.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FSWF-2020-0022).

Литература

1. **А.А. Амосов** «О разрешимости задачи теплообмена излучением по закону Стефана-Больцмана» Вест. МГУ. Сер. Вычисл. матем. киберн., No 3. 18–26 (1980).
2. **А.А. Амосов.** «Стационарная нелинейная нелокальная задача радиационно-кондуктивного теплообмена в системе непрозрачных тел со свойствами, зависящими от частоты излучения». Пробл. мат. анал. 43, 3–34 (2009).
3. **Кремкова А.А.** «Полудискретные и асимптотические аппроксимации для задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в периодической структуре» Вестник МЭИ. 2012. № 6. С. 151–161.

Секция 13
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
Applied mathematics

Председатель секции: д.т.н., профессор Еремеев Александр Павлович

Секретарь секции: к.т.н., доцент Чернецов Андрей Михайлович

Д.И. Рыжов, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

Так как модель OSI может подвергаться угрозам на каждом из уровней, становится очевидна потребность в системах обнаружения вторжений (СОВ) для их своевременного выявления и организации защиты [1].

Системы машинного обучения, находящие применение в адаптивных алгоритмах, позволяют обнаружить даже ранее неизвестные угрозы, что является очень полезным свойством в условиях быстрой адаптации злоумышленников к установленным защитным мерам. Одним из наиболее перспективных направлений остаются нейронные сети, которые по сравнению с традиционными математическими методами обеспечивают достаточно высокое качество решений при меньших затратах.

В качестве модели нейронной сети был выбран многослойный персептрон. Для обучения сети использовался набор данных NSL-KDD (2014), являющийся модернизированной частью KDD CUP '99 [2]. Каждая запись в базе KDD представляет собой образ сетевого соединения и включает 41 информационный признак — последовательность (TCP, UDP, ICMP)-пакетов. Задача многоклассовой классификации была сведена к более распространённой задаче бинарной классификации. Таким образом, модель идентифицировала сам факт наличия угрозы независимо от вида вторжения.

В качестве метрик были выбраны accuracy (доля правильных ответов), precision (доля объектов, действительно принадлежащих данному классу относительно всех отнесенных к этому классу) и recall (доля объектов, принадлежащих классу относительно всех объектов этого класса). В результате обучения сети были получены следующие значения метрик: accuracy — 0.98, precision — 0.99, recall — 0.97.

Таким образом, с помощью разработанной СОВ на базе нейросети можно осуществлять прогнозирование рисков событий. Полученная модель благодаря своей способности к обучению с применением интеллектуальных технологий, позволит избежать необходимости постоянного привлечения экспертов для оценки рисков.

Литература

1. **Ушаков Д.В.** Развитие принципов функционирования систем обнаружения вторжений на основе модели защищенной распределенной системы // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва. 2005. — 175 с.
2. **Sarika Choudhary, Nishtha Kesswani.** Analysis of KDD-Cup'99, NSL-KDD and UNSW-NB15 Datasets using Deep Learning in IoT. *Procedia Computer Science*, Volume 167, 2020, Pp. 1561–1573.

И.С. Павлов, студ.; рук. к.т.н., проф. П.Б. Хорев (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПРОГРАММНОЙ 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], а также на исследование основного отечественного алгоритма криптографического хеширования ГОСТ 34.11-2018 («Стрибог») [2]. Кроме того, в данной работе приведены программные реализации в виде приложений на мобильные устройства криптоалгоритмов «Магма» и «Стрибог», способные выполнять криптографическое шифрование и криптографическое хеширование файлов и введенных пользователем текстов.

Реализованные приложения были протестированы на различных устройствах и на различных файлах с целью сравнения времени работы в зависимости от мощности устройства. Было установлено, что приложения показали низкую скорость шифрования и хеширования для файлов больших размеров.

Для увеличения быстродействия работы приложений были предложены следующие решения:

- Криптографические вычисления производить на специальном вычислительном сервере, при этом передачу между ним и клиентом организовать по протоколам безопасной передачи данных.
- Применить параллельную реализацию алгоритмов.
- Сменить высокоуровневые абстракции на низкоуровневые, а также внедрить побитовые операции там, где возможно их использование.

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.

*В.С. Петров, М.Д. Сергеев, студенты; И.А. Полюшкин, аспирант;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АГЕНТА НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается реализация *обучаемого агента* в плане применения в перспективных интеллектуальных системах реального времени (ИС РВ), способного обучаться и подстраиваться под изменения поведения объекта управления или внешней среды. Используется *обучение с подкреплением* — один из способов машинного обучения, в ходе которого агент обучается, взаимодействуя с некоторой средой [1]. Агент обучается отображать ситуации в действия, чтобы максимизировать функцию поощрения. Действия могут влиять не только на вознаграждение, получаемое немедленно, но и на возникающую ситуацию, и на последующие поощрения. Агент должен иметь цель или цели, связанные с состояниями среды.

Нечеткая логика позволяет описывать поведение системы с использованием условных правил "ЕСЛИ — ТО", что дает возможность использовать знания эксперта при моделировании и управлении системой.

В работе был реализован модуль *нечеткой логики*, как универсальный аппроксиматор нелинейных функций, для выбора действий агентом, включающий базу нечетких правил, механизм нечеткого вывода, фуззификатор и дефуззификатор [2, 3].

Реализованы и протестированы с целью применения в ИС РВ типа ИС поддержки принятия решений [4] три агента: EpsilonGreedy, Softmax и FuzzyAgent. Установлено, что лучшие результаты по суммарному вознаграждению продемонстрировал FuzzyAgent, но процент действий с максимальной наградой лучше у EpsilonGreedy. Подстройка дефуззификатора позволяет увеличить скорость обучения агента.

Литература

1. **Sutton, R.S. and A.G. Barto**, Reinforcement Learning: An Introduction. Second ed. 2018: The MIT Press.
2. **Annabestani, M., et al.**, A new soft computing method for integration of experts' knowledge in reinforcement learning problems // Expert Systems with Applications, 2021.
3. **Peng Zhang, et al.**, KoGuN: Accelerating Deep Reinforcement Learning via Integrating Human Suboptimal Knowledge // Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-20), 2020.
4. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. М.: ИНФРА-М, 2017. — 351 с.

А.Н. Апарнев, асп.; рук. Г.С. Плесневич, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА В ПРОПОЗИЦИОНАЛЬНЫХ ЛОГИКАХ

Абдуктивные рассуждения нацелены на поиск наилучшего объяснения наблюдаемого явления. Абдукция опирается на базу знаний интеллектуальной системы (ИС) и направлена от следствий к причинам, вследствие чего для одного и того же наблюдения может существовать множество объясняющих гипотез. Для выбора наилучшей, между ними вводится зависящая от предметной области мера предпочтительности, например оценки стоимости или правдоподобия.

Исторически, алгоритмы абдуктивного вывода разрабатывались в символическом направлении искусственного интеллекта. Такие алгоритмы представляют знания как систему символов. Тем не менее, эти алгоритмы зачастую уязвимы перед не-факторами знаний, например противоречивостью, неточностью и нечёткостью.

Устойчивость к этим факторам проявляют алгоритмы второго доминирующего направления искусственного интеллекта — искусственные нейронные сети (ИНС). Направление исследований, нацеленное на совмещение в единой системе символьных и нейросетевых алгоритмов рассуждений и способов представления знаний известно как нейросимвольная интеграция и представляет теоретический и практический интерес для разработки различных ИС, в том числе интеллектуальных систем поддержки принятия решений [1].

Многие описанные в литературе ИНС для абдуктивных рассуждений либо по структуре связей, либо в результате обучения, могут работать только с одной, заранее заданной базой знаний, вследствие чего не подходят для динамически меняющихся предметных областей. Для решения этой проблемы была разработана ИНС, реализующая алгоритм абдуктивного вывода в пропозициональной логике и в нечеткой пропозициональной логике Заде с оценками [2].

Литература

1. **Демидовский А.В., Бабкин Э.А.** Интегрированные нейросимволические системы поддержки принятия решений: проблемы и перспективы // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 3. С. 7–23. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.7.23
2. **Plesiewicz G.S.** Abduction with estimates for statements in fuzzy propositional logic. Artificial Intelligence — 18th Russian conference RCAI 2020. — Springer International Publishing (2020), pp. 164–176.

Ю.С. Николаев, студ.; рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА LOW-CODE БОТА ПОДДЕРЖКИ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ РАЗРАБОТКИ

Для проектной работы разработчики используют большое количество разнообразных инструментов. Эти инструменты обладают разными характеристиками безопасности, оптимальности работы и простоты использования. Такое многообразие инструментов усложняет контроль качества и скорость привлечения новых людей к проекту.

Для решения данной проблемы в IT-компаниях создают собственные платформы разработки. В качестве одного из инструментов платформы на кафедре ПМИИ используется GitLab [1] как основное DevOps-решение. GitLab интегрирован с платформой Yandex.Cloud, в которой помимо прочего для студенческих сервисов создаются базы данных. В платформе также присутствует база знаний на основе wiki.js. Для поддержки пользователей платформы компании создают собственную службу поддержки (service desk). Большую часть рутинных задач такой службы можно автоматизировать с помощью чат-бота.

Цель работы — создание удобного интерфейса в виде чат-бота, который поможет разработчикам быстро подключиться к платформе кафедры.

В качестве платформы для создания бота выбран мессенджер Telegram [2]. Логику бота невыгодно реализовывать в качестве самостоятельного программного продукта, так она может слишком часто меняться. Поэтому на начальном этапе выгодно использовать low-code решения [3]. Для настройки логики бота выбран сервис Integromat [4].

В результате создан бот, который может авторизовать пользователя с учетной записью ОСЭП, а также создать проект в GitLab и выдать на него права, создать базу данных в Yandex.Cloud и инициализировать пространство для документации приложения в wiki.js. В перспективе планируется добавить больше функций, автоматизирующих поддержку платформы.

Литература

1. Документация GitLab [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.gitlab.com/> (дата обращения 26.10.2021)
2. Документация Telegram [Электронный ресурс]. URL: <https://core.telegram.org/bots> (дата обращения 26.10.2021)
3. Sanchis R. et al. Low-code as enabler of digital transformation in manufacturing industry // Applied Sciences. — 2020. — Т. 10. — № 1. — С. 12.
4. Документация Integromat [Электронный ресурс]. URL: <https://www.integromat.com/en/help> (дата обращения 26.10.2021)

А.А. Аль-саиди, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КЛАССА РАЗРЕЖЕННЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА SPMV-CSR И ТЕХНОЛОГИИ OPENMP

Цель работы — повысить производительность параллельного алгоритма умножения матриц в формате CSR [1] на вектор SpMV-CSR [2] с помощью технологии OpenMP [3]. Реализации алгоритма на многоядерных процессорах с использованием технологии OpenMP и директивы «reduction» [3] приводит к сокращению времени выполнения и увеличению ускорения.

Разреженная матрица (PM) в полном формате содержит мало ненулевых элементов, поэтому целесообразно осуществлять преобразование представления PM в формат, содержащие только ненулевые элементы, с целью сократить объем используемой памяти и вычислений. Формат CSR (Compressed Sparse Row) использует структуру указателя строки для индексации начала каждой строки в массиве ненулевых элементов и структуру индекса столбца для хранения столбца каждого ненулевого элемента.

В докладе приведено сравнение ускорений параллельного приложения, созданного на основе алгоритма SpMV-CSR и реализованного на C++ в среде Visual Studio 17 с использованием и без использования директива «reduction» стандарта OpenMP.

Директива «reduction» создает локальные переменные, которые являются копией общей переменной. В результате параллельные процессы получают доступ к переменным в памяти без ожидания, сокращая простои ядер процессора.

В докладе представлены результаты тестирования приложения на 12-ядерном процессоре Intel Core i7, 3000 MHz, 16 ГБ памяти, проведенные в диапазоне от 1 до 12 потоков для различных размеров матриц от 10^3 до 10^4 строк и степени разреженности 25%.

Литература

1. **Merrill D., Garland M.** Merge-based sparse matrix-vector multiplication (spmv) using the csr storage format // ACM SIGPLAN Not. ACM New York, NY, USA, 2016. Vol. 51, № 8. P. 1–2.
2. **Catalán S. et al.** Towards an auto-tuned and task-based spmv (lass library) // International Workshop on OpenMP. Springer, 2020. P. 115–129.
3. **Davis J.H. et al.** Performance Assessment of OpenMP Compilers Targeting NVIDIA V100 GPUs // arXiv Prepr. arXiv2010.09454. 2020.

Д.А. Лосев, студ.; рук. П.Б. Хорев, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ФАЙЛОВ НА УСТРОЙСТВАХ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

За последние 10 лет смартфоны стали неотъемлемой частью жизни многих людей. Практически у каждого человека есть смартфон. Иногда на них требуется хранить конфиденциальные данные. В таком случае встроенных (системных) средств защиты таких данных может быть недостаточно. Поэтому имеет смысл создать приложение, которое будет осуществлять дополнительную защиту данных.

Так как приложения на Android сейчас в основном разрабатываются на языке Kotlin, который полностью совместим с Java, то стоит разработать только криптографические библиотеки на Java. Одной из самых популярных криптографических библиотек является Bouncy Castle, а также библиотека Security из Android Jetpack, которая реализует меньше алгоритмов шифрования, чем Bouncy Castle, но в то же время поддерживает аутентификацию пользователя с помощью биометрии (по отпечаткам пальцев или образу лица).

Иногда требуется зашифровать несколько файлов. Пользователю будет проще работать с ними, если они будут храниться в одном месте — криптоконтейнере. Собственно, это второе, о чём пойдёт речь в данной работе.

На новых смартфонах нет проблем с памятью, в то же время на более старых устройствах такая проблема уже может возникнуть. Также пользователю явно будет проще, если его смартфон будет в одной экосистеме с персональным компьютером или ноутбуком. И здесь напрашивается третья цель — облачные хранилища. Именно поэтому было реализовано взаимодействие с двумя облачными дисками: Яндекс Диск и Google Drive.

Таким образом, было разработано приложение для смартфонов под управлением ОС Android, позволяющее авторизовываться как по парольной фразе, так и с использованием биометрии, шифровать множество файлов, безопасно передавать их другим пользователям, взаимодействовать с облачными хранилищами.

Литература

1. **Бараш А.В., Баранова Е.К.** Криптографические методы защиты информации. М.: КНОРУС, 2016. 162 с.
2. **Молдовян Н.А.** Теоретический минимум и алгоритмы цифровой подписи. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 304 с.

*М.А. Маренков, студ.; Н.А. Панявин, асп.;
рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Одними из краеугольных моментов интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) являются способы представления и оперирования нечеткой динамической информацией.

Ключевой особенностью ИСППР можно выделить возможность сочетания методов организации и обработки данных для дальнейшего построения математических моделей и решения прикладных задач. Развитие технологий в области «Больших Данных (Big Data Science)» и расширение областей применения NoSQL баз данных открыло возможности для обработки больших объемов нечеткой информации [1, 2]. На данный момент выделяют следующие основные гибридные модели:

- Системы, основанные на нечетких продукциях (1)
- Нечеткие семантические сети (2)
- Нечетких ситуационные системы и проч. (3)

В проведенном исследовании было реализованы гибридные модели и произведено их сравнение. Было установлено, что модель (1) является более универсальной, т.к. её можно применять в условиях неточного соответствия реальной ситуации и прогнозируемой. Однако способ (2) является более наглядным и приспособленным относительно (1) способа. Отличительной особенностью модели (3) является ограниченный набор ситуаций, с помощью которого можно описать бесконечно много состояний объекта. Также выявлено, что общим для всех моделей является вывод на основе образца.

Литература

1. **Еремеев А.П., Панявин Н.А.** О реализации нечеткой темпоральной модели данных на основе нереляционной базы данных // Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии — 2021» Научное издание. — Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2021. — 624 с. С. 261–269.
2. **Еремеев А.П., Панявин Н.А.** Применение нереляционных моделей данных для создания темпоральной базы данных интеллектуальных систем реального времени // Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии — 2021» («ИС & ИТ-2020», «IS&IT-2020»). Научное издание в 2-х т. Т. 1. — Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2020. — 536 с., С. 220–228, ISBN 978-5-6043689-9-2 (Т. 1).

М.И. Зязиков студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Одним из подходов к решению задачи моделирования человеческих рассуждений в интеллектуальных системах является использование аппарата нетрадиционных логик — индуктивных, абдуктивных, нечетких, а также методов рассуждений на основе аналогий и прецедентов [1].

Задачей является реализация нечеткого модуля для прецедентной системы (СВР).

Рассуждения на основе прецедентов основываются на накоплении опыта и последующей адаптации решения известной задачи к решению новой.

Методы рассуждения на основе прецедентов включают в себя четыре основных этапа, образующие СВР-цикл [2].

В прецедентных системах используются различные способы представления прецедентов (например, параметрический и структурированный) [2]. Кроме того, для расширения выразительных возможностей СВР систем на случай работы с нечеткой информацией может применяться специальный вид прецедентов — нечеткий (fuzzy) прецедент. Параметры, описывающие нечеткий прецедент, принимают значения, которые имеют значения функции принадлежности между 0 и 1 в соответствии с теорией нечетких множеств в отличие от классической логики, когда присутствует только два значения истинности (0 и 1).

В работе была предложена структура нечеткого прецедента, реализованы механизмы нечеткого вывода на основе прецедентов, включая процедуры фаззификации и дефаззификации прецедентов. Для реализации основных блоков нечеткого модуля для СВР системы был выбран язык программирования Python 3.8.0 с использованием библиотеки scikit-fuzzy. Результатом является программа, реализующая алгоритм извлечения четких и нечетких прецедентов для получения решения новой задачи (текущей ситуации).

Литература

1. **Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. 2-е издание // Под редакцией В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. — М.: Физматлит, 2008.
2. **П.Р. Варшавский, Еремеев А.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–47.

С.А. Поляков, асп.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

С каждым годом все сильнее прослеживается устойчивая тенденция к широкому применению методов и средств интеллектуального анализа данных (ИАД) для решения различных прикладных задач. Все больше компаний используют интеллектуальные системы (ИС) и средства ИАД для своего бизнеса. Благодаря развитию Интернет-технологий и облачных вычислений перспективным направлением в области искусственного интеллекта (ИИ) является создание распределенных ИС (РИС).

РИС характеризуются распределением вычислительных и информационных ресурсов, что ведет к повышению адаптируемости, надежности, а также общего быстродействия системы, ввиду возможности одновременно обрабатывать большие наборы данных. РИС состоят из автономных узлов (агентов), которые могут действовать независимо друг от друга, и асинхронно обмениваться информацией между собой. Наличие в системе агентов, способных реализовывать определенные интеллектуальные функции, характеризует РИС как многоагентную систему (МАС) [1].

МАС определяется как сеть агентов, которые существуют в общей среде и взаимодействуют между собой для достижения тех или иных целей системы. Взаимодействие может осуществляться агентами либо прямым образом — путем обмена сообщениями, либо некоторым косвенным образом, когда одни агенты воспринимают присутствие других агентов через изменения во внешней среде, с которой они взаимодействуют.

В состав модуля ИАД для РИС могут входить различные методы и программные средства анализа данных (например, на основе прецедентов, нейронных сетей, деревьев решений и др.).

Для эффективного решения задач ИАД в распределенных системах необходимо, помимо реализованного ранее прецедентного модуля [1], разработать нейросетевой модуль и блок на основе индуктивных механизмов. Все модули будут входить в состав веб-приложения, реализуемого на языке программирования python 3.7.5 с использованием веб-фреймворка Flask и библиотеки owlready2 [2].

Литература

1. **Еремеев А.П., Варшавский П.Р., Поляков С.А.** Программная реализация модуля анализа данных на основе прецедентов для распределенных интеллектуальных систем // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34. No 3. С. 381–389. 10.15827/0236-235X.135.381-389
2. **Гринберг М.** Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python // пер. с англ. А.Н. Киселева. М.: ДМК Пресс, 2014.

Е.О. Филатова, студ.; рук. С.А. Ивлиев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДЕЙСТВИЯХ

В современном мире в связи с ростом количества информации на разного рода тематики встает вопрос о том, как найти актуальную или необходимую пользователю информацию в библиотечных системах, интернет-магазинах, хранилищах с данными. На помощь пользователю приходит механизм рекомендательных систем, позволяющий предсказывать запросы пользователя, используя информацию о его действиях.

В данной работе представлена реализация рекомендательной системы методами машинного обучения. Для обучения и тестирования модели нейронной сети использовались предоставленные одной из крупнейших в мире торговых онлайн-площадок Amazon [1, 2] данные, опубликованные в 2014 г.

Для взаимодействия с обученной нейронной сетью разработано микросервисное приложение на языке Golang версии 1.11. Среда разработки — GoLand IDE.

В ходе исследования проводятся анализ и сравнение различных архитектур нейронной сети, результатом является наиболее оптимально справляющаяся с поставленной задачей модель.

Данную работу можно развивать, используя различные приемы для подбора гиперпараметров нейронной сети, а также перенести процесс обучения модели в realtime, с учетом новых получаемых данных о действиях пользователя.

Литература

1. Ups and downs: Modeling the visual evolution of fashion trends with one-class collaborative filtering // In Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web. / **R. He, J. McAuley** — 2016. — Pp.: 11.
2. Image-based recommendations on styles and substitutes // In Proceedings of the 38th ACM SIGIR Conference on Reasearch and Development in Information Retrieval. / **J. McAuley, C. Targett, J. Shi, A. van den Hengel** — 2015. — Pp.: 10.
3. **Adomavicius G., Tuzhilin A.** Context-aware recommender systems. In Recommender systems handbook. // Springer — 2011. — Pp.: 217–253.
4. **Gantner Z., Rendle S., Schmidt-Thieme L.** Factorization models for context-/time-aware movie recommendations. // In Proceedings of the Workshop on Context-Aware Movie Recommendation. ACM — 2010. — Pp.: 14–19.
5. **Фальк К.** Рекомендательные системы на практике / пер. с англ. Д. М. Павлова. — М.: ДМК Пресс, 2020. — 448 с.: ил.

*И.С. Калюжный, студ.; А.А. Ефанов, асп.;
рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЫЯВЛЕНИЮ ПЛАГИАТА В ИСХОДНОМ КОДЕ

С конца 2000-х гг. сетевые технологии развились настолько, что использование студентами чужого кода стало обыденностью. Проблема усугубляется недостатком на рынке доступного специализированного ПО. Без него невозможно обнаружение плагиата, когда речь идет не о единичных случаях, а, например, о проверке работ учебной группы — визуально они могут сильно различаться и при этом быть идейными и смысловыми копиями друг друга.

Выделяют 4 типа плагиата:

- 1) Код скопирован без изменений;
- 2) Код скопирован с «косметическими» заменами идентификаторов;
- 3) Код модифицирован путем добавления, редактирования или удаления его фрагментов или изменения порядка их исполнения, без изменений в логике программы;
- 4) Код некоторым образом переписан с общим сохранением логики работы и функциональности, однако синтаксически может полностью отличаться от оригинала [1].

Выявление плагиата исходного кода проходит в 4 этапа: сначала проводится предварительная обработка кода, далее код трансформируется к виду, который подходит для анализа, после чего начинается непосредственный поиск совпадений. На заключительном этапе результат фильтруется и преобразовывается для улучшения наглядности.

В работе содержится сравнительный анализ подходов к решению задачи выявления плагиата в исходном коде, таких как text-based, token-based, metrics-based, tree-based и binary based подходы [1]. Также проведено сравнение с уже существующими системами поиска плагиата, такими как JPlag, MOSS и пр. [2].

Эта работа может помочь в создании продуктов, которые упростят работу преподавателей при поиске плагиата в работах студентов. В свою очередь, это позволит уменьшить число заимствований кода и повысить качество учебного процесса.

Литература

1. **Roy C.K., Cordy J.R.** A survey on software clone detection research // Queen's School of Computing TR. — 2007. — Т. 541. — № 115. — С. 64–68.
2. **Hage J., Rademaker P., van Vugt N.** A comparison of plagiarism detection tools // Utrecht University. Utrecht, The Netherlands. — 2010. — Т. 28. — № 1.

К.А. Рубинов, асп.; рук. А.В. Князев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Работа с изображениями при помощи нейронных сетей — одна из самых быстро развивающихся областей машинного обучения. Нейронные сети активно используются для распознавания и классификации образов. Однако, возможности нейронных сетей применимы не только для распознавания образов, но и для видоизменения, улучшения качества или создания новых изображений на основе обучающей выборки.

В данной работе исследуются методы генерации изображений при помощи генеративно-сопоставительных нейронных сетей [1], направленные на решение трех задач: восстановление повреждений на изображении [2], увеличение разрешения изображения [3] и получения фронтального изображения человеческого лица при наличии фотографии в профиль [4].

Для каждой задачи разработана реализация соответствующего метода. Были построены различные варианты моделей нейронных сетей для решения поставленных задач, а также разработаны программы для их обучения. Проведены эксперименты с обученными моделями. Для задачи восстановления показано, что что в широком диапазоне качество восстановления практически не зависит от доли поврежденных пикселей, а также, что добавление остаточных блоков не приводит к улучшению качества. Для задачи увеличения разрешения показана зависимость качества от количества остаточных блоков и выбора функции ошибки при обучении. Для задачи фронтализации показана зависимость качества от количества остаточных блоков, а также сравнение моделей для работы с цветными и с черно-белыми изображениями.

Литература

1. **Goodfellow I., Pouget-Abadie J., et al.** Generative adversarial nets // In Proceedings of the 27th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), 2014. pp. 2672–2680.
2. **Yeh R.A., Chen Ch., et al.** Semantic Image Inpainting with Deep Generative Models [Электронный ресурс] // arXiv:1607.07539. — URL: <https://arxiv.org/abs/1607.07539> (Дата обращения: 4.11.2021).
3. **Lim B., Son S., et al.** Enhanced Deep Residual Networks for Single Image Super-Resolution [Электронный ресурс] // arXiv:1707.02921. — URL: <https://arxiv.org/abs/1707.02921> (Дата обращения: 4.11.2021).
4. **Huang R., Zhang Sh., et al.** Beyond Face Rotation: Global and Local Perception GAN for Photorealistic and Identity Preserving Frontal View Synthesis // The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2017. pp. 2439–2448.

Д.В. Гаврилова, студ.; рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

При выборе направления для поступления в университет абитуриент может воспользоваться программой обучения. Эта программа не всегда дает хорошее представление о том, какие навыки студент получит по окончании, и как они связаны с требованиями к специалистам, работающим в индустрии. Также студенты не всегда понимают ценность дисциплины для их будущей карьеры и могут неправильно расставить приоритеты при обучении в ВУЗе [1].

Для решения этих проблем разные образовательные учреждения использовали визуализацию учебной программы в виде графов, таблиц и иных более наглядных представлениях, чем текст.

Целью данной работы являются поиск и сравнение средств и методов визуализации учебных программ, а также проектирование интерфейса и архитектуры новой системы, решающей данную задачу.

В ходе работы были найдены и проанализированы различные средства визуализации образовательных организаций: интерактивные карты знаний (knowledge map) онлайн-курсов платформы JetBrains Academy [2], учебный план образовательной программы «Современное программирование» факультета математики и компьютерных наук СПбГУ [3] и учебный сайт Массачусетского технологического института [4]. Были выделены их достоинства и недостатки.

На основе проведенного анализа спроектирован интерфейс визуализации образовательных программ, сохраняющий достоинства изученных инструментов, а также спроектирована архитектура целевой системы.

Литература

1. **Cauley K.M., McMillan J.H.** Formative assessment techniques to support student motivation and achievement // The clearing house: A journal of educational strategies, issues and ideas. — 2010. — Т. 83. — № 1. — С. 1–6.
2. Карта знаний курса «Frontend Developer» [Электронный ресурс]. URL: <https://hyperskill.org/knowledge-map?track=5>
3. Учебный план программы «Современное программирование» [Электронный ресурс]. URL: <https://bsse.compscicenter.ru/courses/>
4. Учебный сайт MIT — Crosslinks [Электронный ресурс]. URL: <https://crosslinks.mit.edu/>

*Д.О. Карпов, А.Д. Головин, студенты;
рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРЕДАЧА КОНТЕКСТА МЕЖДУ ПРОГРАММНЫМИ ОКРУЖЕНИЯМИ

Существующие методологии гибкой разработки часто используют прототипирование как метод раннего развертывания и доставки рабочих решений. Многоязычное программирование, позволяющее использовать несколько языков при разработке, является одним из принятых методов прототипирования, обеспечивающий непрерывное изменение и повторное развертывание внедрения.

Работая в среде, похожей на Jupyter Notebook, в которой параграфы написаны на нескольких языках, нужно, например, загрузить данные с помощью SQL-параграфа, далее очистить их с помощью Python, а после создать визуализацию с помощью DSL на Kotlin, после чего привести в исполнение код.

В работе предложены подходы для реализации такой среды разработки с помощью инструментов многоязычного программирования, с сохранением достоинств и исправлением существенных недостатков изученных подходов. Возможный способ реализовать такую передачу контекста — сериализация контекста, когда переменные и их значения сохраняются в промежуточное представление (например, в JSON-представление), а затем передаются в следующий интерпретатор, где нужные переменные будут преобразованы к нативному представлению языка [1]. Другой подход — использование фреймворков (например, Truffle из GraalVM [2]) для запуска кода в единой среде исполнения. В этой среде переменные могут храниться в общей памяти и переиспользоваться в разных языках.

В работе проведён анализ подходов в многоязычном программировании. Выявлены проблемы сериализации контекста в известных фреймворках и библиотеках.

Литература

1. A Remote Direct Memory Access Protocol Specification [Электронный ресурс], URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5040> (дата обращения: 07.11.2021)
2. Introduction to GraalVM [Электронный ресурс], URL: <https://www.graalvm.org/docs/gettingstarted/> (дата обращения 07.11.2021)

*А.А. Бабенов, студ.; А.А. Ефанов, асп.;
рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ PUSH-PULL КОММУНИКАЦИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ МИКРОСЕРВИСНОЙ ТЕСТИРУЮЩЕЙ ОНЛАЙН СИСТЕМЫ

При разработке программного обеспечения на основе микросервисной архитектуры, актуальной проблемой становится проектирование подходящей модели коммуникаций, способной поддерживать работу множества независимых компонентов этой системы.

Для создания распределённой микросервисной тестирующей онлайн системы [1] с поддержкой проверки параллельных программ требуется разработать инфраструктуру определённой топологии. При этом могут возникнуть сложности с организацией безопасности и обеспечением доступности такой специфической инфраструктуры извне. Например, тестирующий раннер (внешний, подключаемый к системе модуль, в котором реализована функциональность тестирования задач конкретного вида) может находиться на персональном компьютере, к которому нельзя обратиться напрямую с сервера системы. В таком случае следует предоставить возможность раннеру самому инициализировать передачу данных из системы: забирать нужные задачи и отправлять результаты тестирования. Однако традиционная модель синхронной передачи данных (модель издателя-подписчика, поддерживающая только push-запросы [2]) не способна обеспечить такой уровень связей между компонентами системы.

Решением подобных проблем является модель push-pull коммуникаций, которая позволяет потребителям получать и обрабатывать данные с локально определёнными скоростями, а также поддерживает полностью асинхронное потребление данных [2].

В работе приведён анализ существующих моделей передачи данных, сформулированы требования и спроектированы взаимодействия между компонентами распределённой микросервисной тестирующей онлайн системы.

Литература

1. **Wasik S. et al.** A survey on online judge systems and their applications // ACM Computing Surveys (CSUR). — 2018. — Т. 51. — № 1. — С. 1–34.
2. **К. Juvva.** A real-time push-pull communications model for distributed realtime and multimedia systems / К. Juvva, R. Rajkumar // Technical Report CMU-CS-99-107. — School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1999.

Д.С. Чернов, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ СЕГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ

Каждый день в мире создается примерно 2,5 квинтиллиона байтов информации — это объем, который сложно представить [1]. Сейчас многие прогрессивные компании и консорциумы для большего понимания потребностей своих клиентов и улучшения различных показателей своей деятельности прибегают к анализу имеющихся больших объемов данных о своих клиентах. Только в 2020 году каждый человек в среднем генерировал 1,7 мегабайта информации в секунду, а количество ежедневных запросов к поисковой системе Google превышает 3,5 миллиарда запросов [2]. По мнению популярного издания «The Economist» данные уже заменили нефть в качестве самого ценного источника в мире. При этом данные в отличие от нефти могут быть легко извлечены, а их запасы неиссякаемы. Кроме того, данные можно структурировать, анализировать и использовать для получения новой информации (неочевидных зависимостей) [3].

В работе выполнено исследование и разработка средств классификации данных на основе методов интеллектуального анализа данных и механизмов машинного обучения (Machine Learning) для последующего построения модели сегментации (кластеризации) данных.

Программная реализация в среде разработки JetBrains в IDE PyCharm на языке Python с использованием библиотек Scikit-learn и Pandas.

Scikit-learn — один из наиболее широко используемых пакетов Python для Data Science и Machine Learning. Он позволяет выполнять множество операций и предоставляет различные алгоритмы для обработки данных.

Библиотека Pandas ориентирована на эффективную обработку больших объемов данных, что особенно важно при последующем использовании механизмов машинного обучения.

Литература

1. How Much Data Is Created Every Day: сайт forbes.com [электронный ресурс] URL <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/05/21/how-much-data-do-we-create-every-day-the-mind-blowing-stats-everyone-should-read/?sh=10c77ab660ba> (дата обращения 10.12.2021)
2. 25+ Impressive Big Data Statistics for 2021: сайт techjury.net [электронный ресурс] URL: <https://techjury.net/blog/big-data-statistics/#gref> (дата обращения 10.12.2021)
3. What is Data Segmentation: сайт experian.ru [электронный ресурс] URL: <https://www.experian.co.uk/business/glossary/data-segmentation/> (дата обращения 10.12.2021)

А.С. Макушкин, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АППЛИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО ОЦЕНКЕ КРЕДИТНЫХ РИСКОВ

В банковской сфере остро стоит вопрос автоматизации процессов, связанных с обработкой огромного количества заявок от клиентов и, в частности, запросов на получение кредита, так как людей не хватает для ручного анализа каждой заявки и принятия по ней решения активно применяются различные статистические методы и механизмы машинного обучения [1] для классификации заявок и автоматического принятия по ним решения.

Кредитный скоринг — самая перспективная сфера для внедрения машинного обучения. Большинство российских банков, опрошенных рейтинговым агентством «Эксперт РА» (в исследовании приняли участие 11 банков: Тинькофф, Газпромбанк, МТС-банк, Московский кредитный банк, банк «Русский Стандарт» и др.), используют данную возможность.

Довольно часто для решения указанных задач применяется регрессионный анализ и в данной работе предлагается использовать логистическую регрессию для бинарной классификации данных.

Логистическая регрессия — это разновидность множественной регрессии, общее назначение которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми переменными (регрессорами или предикторами) и зависимой переменной. Бинарная логистическая регрессия применяется в случае, когда зависимая переменная является бинарной. С помощью логистической регрессии можно оценивать вероятность, что событие наступит для конкретного испытуемого (возврат кредита или дефолт).

В работе была построена аппликационная модель по оценке кредитных рисков на основе открытого источника данных «ХОУМ КРЕДИТ ЭНД ФИНАНС БАНК» [2] и выполнена ее программная реализация на языке Python с применением соответствующих библиотек для анализа данных.

Литература

1. Брюс П. Практическая статистика для специалистов Data Science: Пер. с англ. / П. Брюс, Э. Брюс. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018.
2. Kaggle [Электронный ресурс]: соревнования по созданию модели на основе машинного обучения. — Электронные данные. — режим доступа к журналу: <https://www.kaggle.com/c/home-credit-default-risk/data> (дата обращения: 08.09.2021).

М.Е. Мицук, студ.; рук. Р.В. Алехин (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ПОИСКА РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Рассуждение на основе прецедентов (Case-based reasoning — CBR) является одним из подходов, широко используемых в задачах машинного обучения и анализа данных для различных предметных областей, таких как медицина, распознавание образов и речи, биоинформатика и другие [1]. Данный подход основан на использовании накопленного опыта и адаптации решения уже известной задачи к решению новой.

Для разработки подсистемы поиска решения на основе прецедентов [2] выбран фреймворк для веб-приложений Django [3], написанный на языке Python. В качестве средства реализации программного интерфейса между клиентской и серверной частями приложения был выбран современный язык запросов GraphQL, обладающий рядом преимуществ, таких как возможность описания схемы данных, возможность комбинации запросов, строгая типизация и другие [4].

Основное внимание в работе уделяется реализации модуля авторизации посредством Django GraphQL Auth, в основе которого лежит JSON Web Token (JWT), а также разработке модуля оперирования библиотеками прецедентов (БП). Авторизованный пользователь имеет возможность создавать БП, для этого требуется указать количество параметров для набора данных, сами параметры, их характеристики (тип, описание) и класс, к которому принадлежат эти параметры. Реализован механизм ручного добавления данных в БП, а также автоматического импорта наборов данных из CSV файлов.

В архитектуру разработанной подсистемы заложена возможность добавления пользовательских алгоритмов поиска решения на основе прецедентов, а также их запуска на существующих наборах данных.

Литература

1. **Russell C., Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd Edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
2. **Varshavskii Pavel, Alekhin Roman, Polyakov Sergey, Blashonkov Timur, Mukhacheva Irina** Development of a Modular Case-Based Reasoning System for Data Analysis. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). IEEE, 2020.
3. **Дронов В.А.** Django 3.0. Практика создания веб-сайтов на Python. СПб.: БХВ-Петербург, 2021.
4. **Бэнкс Алекс, Порселло Ева.** GraphQL: язык запросов для современных веб-приложений. СПб.: Питер, 2019.

В.В. Старикова, студ.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ

В связи со стремительным распространением алгоритмов и методов машинного обучения в решении прикладных задач, на сегодняшний день появилось множество сфер их применения в бизнес-задачах повышения эффективности, получения прибыли, постановки прогнозов и так далее. Одним из направлений машинного обучения, которое сейчас особенно востребовано в прикладной области является сфера обучения без учителя. Обучения без учителя изучает широкий класс задач обработки данных, в которых известны только описания множества объектов (обучающей выборки), и требуется обнаружить внутренние взаимосвязи, зависимости, закономерности, существующие между объектами [1].

Основное применение обучения без учителя — построение моделей для кластеризации. Поскольку кластерная структура данных заранее неизвестна, а определяется в процессе обучения модели, использовать какие-либо целевые значения невозможно. Кластеризация играет важную роль в проведении маркетинговой стратегии, построении рекламных акций, сегментации данных. Кластеризация может помочь в определении необходимой конкретной тактики для каждого сегмента. Кластеризация помогает определить внутреннюю структуру данных, позволяет выявить скрытые группы и даёт возможность найти варианты для заинтересованности разных групп клиентов. Качество кластеризации зависит от используемых методов и выявления скрытых закономерностей. Существует множество методов кластерного анализа. Однако, универсального метода кластеризации данных нет, также разные методы работают по-разному и как следствие показывают разные результаты. К наиболее часто используемым относятся статистические, иерархические и основанные на плотности алгоритмы кластеризации [2].

В работе для выполнения сравнительного анализа различных алгоритмов кластеризации выполнена их программная реализация средствами языка Python.

Литература

1. **Машинное обучение.** [Электронный ресурс]: лекции по машинному обучению. — Электронные данные. — Москва, 2021.11.08. — режим доступа к журн.: machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Категория:Машинное_обучение
2. **Дугушкина Н.В.** Обзор популярных методов кластеризации в машинном обучении: [Текст] / Дугушкина Н.В. // Наукосфера. 2020. № 7. С. 112–118.

К.О. Сидоров, студ.; рук. И.С. Михайлов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА DATA MINING ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РЕГРЕССИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

На данный момент нейронные сети все чаще используются в различных задачах Data Mining. Было проведено большое количество успешных экспериментов по внедрению данных моделей в различных сферах за последние 10 лет. Так как производительность компьютеров значительно возросла, появились облачные сервисы для расчетов, мы имеем возможность достаточно быстро проверять различные гипотезы, в том числе и использованием одних из самых вычислительно сложных, но в то же время наиболее точных методов — глубоких нейронных сетей. [1]

Целью работы является предсказание параметров нефтяных скважин. На устьях нефтяных скважин установлены измерительные системы — многофазные расходомеры, который регистрируют такие данные, как скорость потока (в четырёх точках), газосодержание потока (в четырёх точках), скорость звука в среде (в двух точках), температура потока, давление потока. Задача состоит в том, чтобы по обучающей выборке предсказать следующий набор параметров: расход жидкости, расход газа и обводнённость. Предсказание параметров нефтяных скважин позволит заменить сложную математическую модель более простым и современным методом предсказания параметров, а также выявить различные аномальные смены режима работы нефтяных насосов.

В работе был проведен анализ основных архитектур нейронных сетей для решения поставленной проблемы. Таким образом, предлагается применить многослойный перцептрон благодаря некоторым особенностям, необходимым в рамках поставленной задачи. Для подбора подходящей архитектуры нейронной сети был проведен анализ основных параметров. Также был осуществлен разведочный анализ данных с применением описательной статистики для выявления связей между независимыми и зависимыми переменными.

В результате работы были получены первые достаточно простые рабочие варианты моделей нейронных сетей для предсказания контролируемых параметров нефтяных скважин с интерпретацией результатов. Это позволит в дальнейшем уменьшить вычислительные затраты на расчёты и ускорить процесс предсказания рассматриваемых параметров.

Литература

1. **Charu C. Aggarwal.** Neural Networks and Deep Learning. 2020.

А.И. Гуляева, студ.; рук. П.Л. Чернов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЁТА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ КЛИЕНТА

Без информационных компьютерных систем (ИС), автоматизирующих различные бизнес-процессы, сейчас не может существовать ни одна компания.

В докладе рассмотрены принципы и процесс создания ИС [1, 2] для банковской сферы с целью автоматизации процесса по определению кредитоспособности клиента. Исходя из этого, была спроектирована база данных [3], содержащая информацию о критериях банка по кредитоспособности [4] и о его клиентах, выбраны программные продукты для реализации проекта и создан прототип интерфейса [5].

Основной особенностью ИС является возможность оценить кредитоспособность клиента в режиме онлайн с использованием экспертной подсистемы с элементами искусственного интеллекта. Сотрудник вносит в систему ответы клиента на тестирование, программа обрабатывает ответы на основе установленных банком критериев, и как результат система выдаёт процентное соотношение кредитоспособности клиента.

В результате разработки была спроектирована ИС, которая помогает автоматизировать один из основных бизнес-процессов банка. Работа является основой для дальнейшей разработки и усовершенствования ИС путем добавления консультирующих подсистем для автоматизации процессов расчёта оптимальной суммы кредита и ежемесячного платежа.

Литература

1. Элементы ИС [Электронный ресурс], URL: <https://studfile.net/preview/1864849/page:2/> (дата обращения: 15.11.2021).
2. Разработка и внедрение информационных систем [Электронный ресурс], URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24067> (дата обращения: 15.11.2021).
3. Введение в системы базы данных, 7-е издание / К.Дж.Дейт: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. — 1072 с.: ил.
4. Методы оценки физических лиц [Электронный ресурс], URL: <https://www.akrin.ru/about/articles/12/34/> (дата обращения: 15.11.2021).
5. Инструментальные средства конструирования экспертных систем: учебное пособие / Еремеев А.П., Чибизова Н.В. — Москва: Издательство МЭИ, 2002. — 100 с.: ил.

*А.И. Лазарев, студ. (Филиал «МЭИ» в г. Смоленске);
рук. Е.И. Лобанева, инж.-исслед. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕЙРО-НЕЧЁТКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ В УЗКОТАРГЕТИРОВАННОМ СЕКМЕНТЕ СЕТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90062 Аспиранты

Основная методология систем распознавания клиентов в сети основана на верификации доступа при помощи MAC-адреса, представляемого рандомно-генерируемой последовательностью в особом представлении. Использование данной методологии в стандартизированном представлении подвержена возможностью клонирования MAC-адреса третьими лицами с целью проникновения в сегмент сети и последующей эксплуатации уязвимостей [1]. С учётом того, что внутренние алгоритмы аутентификации клиентов имеют схожую структуру на клиенте и сервере, была выполнена разработка программного обеспечения на базе алгоритма генерации MAC-адресов с использованием двунаправленных нейронных сетей и аппарата поддержки принятия решений.

Уникальный реализуемый алгоритм основан на динамическом прогнозирования значений MAC-ячеек в различные моменты времени для принятия решений о несанкционированном доступе — за счёт двухсторонней генерации, идентификация клиента осуществляется по схожей последовательности на разных аппаратных устройствах. В основе модуля генерации MAC-адреса используется НЕХ-выражение с привязкой текущего времени по UTC, при этом модуль первичной привязки устройств основан на инициализации уникального хэш-ключа клиента.

Основу предиктивного модуля генерации MAC-адреса составляет двунаправленная рекуррентная нейронная сеть, входными значениями которой являются вектора x_i (уникальный идентификатор устройства и динамическая последовательность текущего промежутка времени), а выходным вектором является z_p (уникальная ячейка MAC-адреса).

В результате данного исследования было разработано программное обеспечение на базе языка Python, позволяющее существенно повысить безопасность в сфере аутентификации устройств.

Литература

1. **Кухта А.И.** Анализ методов защиты беспроводной сети Wi-Fi // Молодой исследователь Дона. 2020. № 2 (23).

*А.И. Лазарев, студ. (Филиал «МЭИ» в г. Смоленске);
рук. Е.И. Лобанева, инж.-исслед. (НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АТАК RUBBER DUCKY С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90062 Аспиранты

На данный момент информационная безопасность занимает одно из приоритетных направлений в сфере информационных технологий, где остро выделяется проблема недостаточной защищённости аппаратных портов электронно-вычислительных машин от внешнего воздействия. Одной из рассматриваемых уязвимостей является программно-аппаратное решение в сфере информационной безопасности USB Rubber Ducky от компании hak5, направленное на эксплуатацию уязвимостей посредством эмуляции периферийных устройств для выполнения несанкционированных действий на целевой машине [1]. Более прогрессивные аналоги данного решения позволяют комплексно воздействовать на целевую машину посредством перехвата и удаленного управления, в связи с чем была разработана интеллектуальная система оценки и вычисления состояний подключаемых периферийных устройств, в частности — оценки сопоставимости входных групп параметров периферийного устройства.

В основе системы используется модульная система предотвращения несанкционированных атак, совмещающая как возможности базовой идентификации устройства по специфичным параметрам драйвера, так и прогнозирование HID паттернов при помощи Long Sort-Term Memory (LSTM) модели для посимвольного прогнозирования вводимых символов. Так, на вход обучающей модели подаются выборки закодированных символов интерпретатора PowerShell, а основной функцией активации является SoftMax, позволяющей использовать категориальную кросс-энтропию в процессе компиляции модели.

Помимо прочего, для управления реализованными программными модулями был разработан интерфейс управления системой посредством Telegram API, что в перспективе предоставляет возможность использовать реализованную платформу на различных серверных компонентах.

Литература

1. **Dieterle D.W.** Security testing with Kali nethunter. 1 изд. North Charleston, SC: Createspace Independent Publishing Platform, 2017. С. 74–94.

Э.Р. Салахутдинов, асп.; рук. О.В. Бартьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДЫ

Многие задачи обучения с подкреплением (ОП) можно формализовать в виде марковского процесса принятия решений (МППР), включающего множество состояний, действий, вероятностей переходов и вознаграждений. Решением задачи ОП является стратегия, которая максимизирует ожидаемое вознаграждение агента [1].

Алгоритмы ОП можно разделить на два класса: безмодельные и основанные на модели. Безмодельные алгоритмы обучаются при прямом взаимодействии с неизвестной окружающей средой. К данному классу относятся такие алгоритмы, как SARSA, DQN, REINFORCE, PPO, DDPG и др. [1–3]. В отличие от подобных алгоритмов, основанные на модели алгоритмы обладают знаниями о среде и используют их для выбора следующего действия с учетом состояний среды и агента. В определенных случаях целесообразно выполнять обучение, сочетая алгоритмы обоих вышеназванных классов. Такое комбинирование может быть, в частности, реализовано с применением обучаемой модели среды, вес которой возрастает по мере ее совершенствования.

Обучение агента может быть основано на подражательном обучении [3]. Отличительные особенности данного подхода: а) итоговая стратегия воспроизводит поведение эксперта; б) отсутствует вознаграждение. Модель при таком обучении не может превзойти эксперта. Для преодоления этого недостатка подражательное обучение сочетается с безмодельными и основанными на моделях алгоритмами.

Литература

1. **Еремеев А.П., Кожухов А.А.** Реализация методов обучения с подкреплением на основе темпоральных различий и мультиагентного подхода для интеллектуальных систем реального времени // Программные продукты и системы, № 1, 2017, с. 28–33.
2. **Nian R., Liu J., Huang B.** A review on reinforcement learning: Introduction and applications in industrial process control // Computers & Chemical Engineering. — 2020. — Т. 139. — С. 106886.
3. **Lonza A.** Reinforcement Learning Algorithms with Python: Learn, understand, and develop smart algorithms for addressing AI challenges. — Packt Publishing Ltd, 2019.

*А.Ю. Покидько, студ.; Д.О. Цаплин, студ.; М.И. Зубов, асп.;
рук. В.Н. Фальк, д.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ОНЛАЙН СУДЬИ

Технологичность образования в наше время не стоит на месте и постоянно совершенствуется. Для повышения качества и эффективности процесса обучения программированию крайне важно иметь надежный и быстрый способ оценки исходного кода алгоритма, представленного пользователями. Также не менее важным аспектом является удобный и практичный интерфейс, который позволит обучаемому получить задачу, загрузить решение для проверки и получить оценку своей работы [1].

В условиях пандемии это особенно актуально, так как подобная система позволяет организовать образовательный процесс из любого места, имея под рукой только выход в интернет и браузер. Подобные системы также часто применяются для организации олимпиад по программированию, например — ICPC [2].

Перед проектированием интерфейса были проанализированы уже существующие решения, такие как HackerRank [3], LeetCode [4] и многие другие, что позволило аккумулировать их опыт и найти качественно лучшую концепцию будущего интерфейса.

В рамках данной работы был спроектирован удобный и гибкий интерфейс для продукта “Cattester”, который позволяет преподавателям быстро создавать новые задачи, а студентам писать решения, отправлять их и сразу получать результаты тестирования. Этот интерфейс также дает сравнивать качество и количество выполненных задач, что поможет в организации олимпиад и соревнований по программированию. Для реализации интерфейса был выбран JavaScript-фреймворк React [5].

В результате, разработанный интерфейс и архитектура фронтенда позволят реализовать систему “Cattester”.

Литература

1. **Wasik S. et al.** A survey on online judge systems and their applications // ACM Computing Surveys (CSUR). — 2018. — Т. 51. — № 1. — С. 1–34.
2. Информация о Международной студенческой олимпиаде по программированию [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/International_Collegiate_Programming_Contest (дата обращения: 20.11.2021)
3. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hackerrank.com> (дата обращения: 20.11.2021)
4. [Электронный ресурс]. URL: <https://leetcode.com> (дата обращения: 20.11.2021)
5. Документация React [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.reactjs.org/docs/getting-started.html> (дата обращения: 20.11.2021)

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

А.А. Ключанский, студ.; рук. В.А. Курдин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА ПРОВЕРКИ БЛОКА ОПТРОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ ПУЛЬТА КОСМОНАВТОВ «НЕПТУН-МЭ»

На предприятии АО «НИИАО» была произведена модернизация блока оптронного согласования (БОС) пульта космонавтов «Нептун-МЭ» [1]. Изначально в задачи модернизации входило обеспечение возможности автономной проверки работоспособности платы дешифратора и каждой из плат оптронного согласования. Для автономной проверки плат, входящих в состав блока, должны быть разработаны технологические печатные платы и кабели, позволяющие подключать к ним источники питающего напряжения и средства измерений.

Для реализации поставленных задач были рассмотрены современные методы тестирования электронных устройств и выбран метод, необходимый для тестирования БОС — функциональное тестирование. После этого была разработана структурная схема блока (Рис. 1) и описано его функционирование.

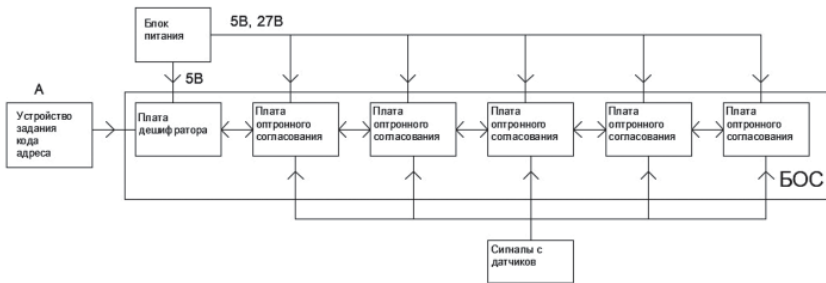


Рис. 1. Структурная схема блока оптронного согласования

Далее было разработано и описано устройство задания кода адреса, позволяющее осуществить ручное тестирование блока. Затем был произведен переход к автоматизированному тестированию устройства, выбран вариант подключения блока к рабочему месту проверки и разработана структурная схема рабочего места с необходимыми для реализации автоматизированного тестирования печатными платами.

Литература

1. Ключанский А.А. Модернизация блока оптронного согласования пульта космонавтов «НЕПТУНМЭ» // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать седьмая Междунар. научтехн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг “Радуга”», 2021. С. 228.

О.М. Власова, студ.; рук. И.Е. Лешихина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СЕМЕЙСТВА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ СРЕДСТВАМИ САПР INVENTOR



Рис. 1. Параметрическая модель линейного щита опалубки

В современных САПР для создания всех типов моделей используется принцип параметризации. Параметрическая модель — это модель, представленная с помощью совокупности параметров, устанавливающих соотношение между геометрическими и размерными характеристиками моделируемого объекта.

Параметрические модели могут быть различных типов: вариационные, иерархические, геометрические и табличные; способы их создания также различны. В современных САПР обязательно присутствуют возможности для создания параметрических моделей. Обычно это встроенные в САПР функции параметрического моделирования.

В данной работе рассмотрена одна из возможностей САПР Inventor для создания параметрических моделей, а именно, использование специальной функции. iLogic. Данная функция позволяет создавать параметрические модели детали с зависимостями. Также с помощью ее можно установить правила, которые определяют параметры детали, и правила соединения между собой параметризованных деталей в сборке [1].

В процессе изучения этой функции САПР Inventor, была разработана параметрическая модель линейного щита опалубки. Для разработки параметрической модели сначала были определены параметры, влияющие на результат создания модели, диапазон их изменения, выявлена зависимость числа продольных ребер от геометрических размеров щита опалубки. Затем был использован инструмент iLogic для создания параметрической модели элемента строительной оснастки (рис. 1). Результатом работы является семейство моделей щитов опалубки различных размеров.

Литература

1. **Тремблей, Т.** Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс [Текст] / Том Тремблей. — Москва: ДМК Пресс, 2013. — 344 с.

А.П. Епишкин, студ.; рук. Л.А. Старостина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАБОТЫ С КАМ-ФАЙЛАМИ

В рамках работ по созданию телевизионных систем (ТС) для посадочных аппаратов лунных миссий разработаны и изготовлены компактные многофункциональные цифровые камеры, предназначенные для длительной работы в условиях космического пространства.

На текущий момент на базе цифровых многофункциональных камер разработаны ТС для космических аппаратов «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс» и «ЭкзоМарс-2022», а также внешняя телевизионная камера пилотируемого транспортного корабля «Орёл» [1]. Внешний вид цифровой телевизионной камеры представлен на рис. 1.

Для хранения и передачи данных изображений, получаемых с цифровых телевизионных камер, и информации о проводимой фотосъёмке используется специальный файловый формат *kam*.

Формат *kam*-файлов не поддерживается стандартными средствами компьютерных операционных систем и поэтому нуждается в разработке программных средств (ПС), предназначенных для работы с этим форматом на персональных компьютерах.

Разработанные ПС для работы с *kam*-файлами представляют собой проводник, имеющий базовые возможности для работы с файлами, такие как: поиск, открытие, копирование, удаление и другие. В ПС реализованы возможности для просмотра и конвертирования *kam*-файлов в графический формат, поддерживаемый стандартными средствами просмотра изображений Windows.

В ходе разработки ПС проведены следующие исследования: исследование структуры и особенностей формата *kam*-файлов, исследование методов восстановления цветных изображений, полученных с использованием фильтра Байера, исследование стандартных графических форматов и выбор наиболее подходящего для конвертирования в него *kam*-файлов.



Рис. 1. Обзорная камера

Литература

1. Отдел оптико-физических исследований [Электронный ресурс] URL: <http://of.ikiweb.ru/> (дата обращения: 30.10.2021).

Е.Н. Егошин, асп.; рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИИ ТРАНСПОРТА

Современная система городского пассажирского транспорта играет важную роль в улучшении условий жизни населения [1]. Решение задачи улучшения возможностей контроля движения транспортных средств по маршрутам, требует изучения внештатных ситуаций на линии, анализа причин их возникновения, а также прогнозирования динамики движения пассажирского транспортного средства (ПТС) между остановочными пунктами (ОП) [2].

В работе рассмотрена проблема построения модели прогнозирования интервалов движения между остановочными пунктами транспортных средств и соблюдения расписания движения. Для решения задачи прогнозирования предлагается использовать алгоритмы машинного обучения, методы поиска аномалий в наборах временных рядов.

В ходе исследования был протестирован ряд математических моделей и обоснован выбор метода, заключающегося в сочетании алгоритма градиентного бустинга над решающими деревьями с применением фреймворка LightGBM. Данный фреймворк обладает преимуществами: скорость, малое потребление системных ресурсов и ориентированность на большие объёмы данных.

Был запущен процесс генерации модели на исторических данных [3]. В результате была получена модель, которая осуществляет прогнозирование движения ПТС между ОП. Результаты прогноза показали, что такая модель успешно справляется с прогнозированием движения ПТС по маршруту. Однако в случае возникновения нештатных ситуаций, способных привести к задержкам прибытия транспорта на ОП, надо применять метод поиска аномалий.

Приведены реальные примеры обработки данных и составления прогнозов, решенные на основе обработки и анализа телеметрических данных маршрутных транспортных средств.

Литература

1. **Козырев Г.И.** Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. — СПб.: Наука и техника, 2007. — 673 с.
2. **Еремеева Л.С.** Маршрутизация перевозок и системы мониторинга. — Сыктывкар: СЛИ, 2015. — 116 с.
3. **Петер Флах.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 402 с.

Е.Д. Богодухов, студ.; рук. В.А. Курдин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АБОНЕНТОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ WI-FI

Одно из значимых мест в информационных технологиях занимает беспроводная связь. В настоящее время технологии беспроводной передачи данных стали играть важную роль в нашей жизни. С повсеместным распространением беспроводных сетей, компании все чаще прибегают к их услугам. Беспроводные технологии активно применяются и для решения задачи позиционирования. На сегодняшний день уже придумано множество технологий и методов для решения этой задачи.

Одним из основных принципов позиционирования абонентов беспроводных сетей является использование методов, основанных на карте радиоотпечатков. В данной работе рассматривается применение этого подхода при вычислении местоположения абонентов беспроводной сети Wi-Fi. При этом используется информация об уровнях сигнала (RSSI) от точек доступа.

Методы позиционирования, основанные на карте радиоотпечатков, делятся на две основные группы: методы детерминистского и вероятностного подхода. В работе были программно реализованы методы, относящиеся к обоим подходам — метод К ближайших соседей (детерминистский подход) и метод гистограмм (вероятностный подход).

Для проверки реализованных методов использовался набор данных, собранный в помещении размером 42x46 метров. Средняя ошибка позиционирования для обоих методов составила около 3 м. При этом медиана ошибки для метода гистограмм оказалась существенно меньше, чем для метода К ближайших соседей (1.51 м и 2.57 м, соответственно). Меньшими оказались и первый и третий кварталы ошибки позиционирования для данного метода. При анализе результатов был сделан вывод о точности каждого метода.

Литература

1. **Курдин В.А., Шарапов А.П.** Методы позиционирования абонентов внутри помещений, основанные на радиоотпечатках (location fingerprinting methods). Труды ХХ МНТК “Информационные средства и технологии”. 20–22 ноября 2012 г., Москва. Т. 1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
2. **Roos T., Myllymäki P., Tirri H., Misikangas P., Sievänen J.** “A probabilistic approach to WLAN user location estimation”. International Journal of Wireless Information Networks, 9(3):155–163, July 2002.

О.Н. Марчук, студ.; рук. В.А. Логинов, проф., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ЦЕЛИ

Для ведения радиолокационного наблюдения и контроля воздушного пространства широко используются радиолокационные станции (РЛС). Важнейшими задачами РЛС являются обнаружение цели на фоне помех, измерение их координат и параметров движения и формирование трассовой информации для выдачи потребителю [1]. Поэтому современные радиолокационные станции не обходятся без использования в своей работе различных алгоритмов обработки информации.

Процесс обработки радиолокационной информации традиционно делится на три этапа (первичной, вторичной или траекторной и третичной обработки). Важной задачей является вторичная обработка радиолокационной информации (ВОИ), заключающаяся в обнаружении и сопровождении траекторий целей по нескольким отметкам. Для этого с выхода блока первичной обработки информации на вход блока вторичной обработки информации поступают отметки об обнаружении — совокупность информации о положении объекта в пространстве. Результатом вторичной обработки являются устойчиво сопровождаемые траектории наблюдаемых воздушных судов [2].

Основной задачей работы является разработка и программная реализация комплекса алгоритмов ВОИ для дальнейшего применения в реальных задачах радиолокации. В комплекс алгоритмов входят: завязка — обнаружение теоретически возможных траекторий; подтверждение — выделение из завязанных траекторий, соответствующих реальным целям; сопровождение — отождествление с траекториями новых отметок, их фильтрация.

При осуществлении поставленной задачи реализация всех алгоритмов была выполнена на объектно-ориентированном языке программирования C++, компиляторе gcc, для автоматизации сборки был использован CMake. Для проверки их работоспособности и эффективности проведено базовое тестирование. Работа выполнена на базе предприятия АО «ВНИИРТ».

Литература

1. **Бакулев П.А.** Радиолокационные системы: учеб. для вузов. / П.А. Бакулев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М: Радиотехника, 2015. — 440 с., ил.
2. **Фарбер В.Е.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации в многоканальных РЛС: учеб. пособие / В.Е. Фарбер. — М. : МФТИ, 2005. — 160 с.

Секция 15
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ,
СЕТИ И СИСТЕМЫ
Computing machines, networks, and systems

Председатель секции: д.т.н., профессор Абросимов Леонид Иванович

Секретарь секции: Орлова Маргарита Андреевна

Н.Г. Бабак, асп.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Предварительным этапом обезличивания персональных данных (ПДн) является их распознавание среди всей информации. Ручное выделение определённого вида информации не только сильно замедляет процесс, но и всё ещё подвержено риску человеческой ошибки.

Существует несколько основных автоматизированных способов распознать какую-либо информацию — это словари, регулярные выражения и алгоритмы машинного обучения. Поскольку существует большое разнообразие данных, прямо или косвенно идентифицирующих человека, например фамилия, имя и отчество (ФИО), серия и номер паспорта, номер телефона, то для их распознавания придется создавать и постоянно поддерживать в актуальном состоянии большие словари, что требует дополнительных временных затрат и повышает риск пропустить критичную информацию. Решить данную проблему можно с помощью машинного обучения. В частности, задача распознавания ПДн сводится к задаче распознавания именованных сущностей [1]. Существует несколько основных способов решения этой задачи, среди которых наиболее передовым является архитектура нейросетей — трансформеров [2].

Распознанные ПДн необходимо не просто удалить из текста, а заменить с учётом синонимических и морфологических особенностей, то есть произвести «умное» обезличивание. Для генерации данных, на которые производится замена, разработаны следующие алгоритмы:

1. Генерация синонимичной сущности с помощью регулярных выражений и контрольных разрядов;
2. Замена значением из словаря и сохранение морфологических особенностей текста с помощью нейросетей;
3. Замена одинаковых сущностей на одинаковые для сохранения смысла и контекста текста.

Более того, необходимо анализировать тип входных данных для сохранения структуры в обезличенных документах. Для обработки сканов документов необходимо включить в процесс обезличивания систему распознавания текста на изображениях.

Литература

1. **Arya Roy.** Recent Trends in Named Entity Recognition (NER) // Carnegie Mellon University, 2021. arXiv:2101.11420v1.
2. **Vaswani A. et al.** Attention Is All You Need // 31st Conference on Neural Information Processing Systems, 2017. arXiv:1706.03762v5.

И.В. Гиль, студ.; рук. В.Ю. Харитонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИСТИЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ИНТЕРФЕЙСА VULKAN

Разработка программного обеспечения для вывода и обработки трехмерной графики является важной и сложной задачей, затрагивающей такие дисциплины, как технология программирования, линейная алгебра, оптика и т.д. В свою очередь, основой такого программного обеспечения является программный интерфейс трехмерной графики, определяющий способ взаимодействия между графическим (GPU) и центральным процессорами (CPU).

В настоящее время актуальными являются следующие интерфейсы трехмерной графики: OpenGL, Vulkan, DirectX, Metal. В отличие от интерфейсов OpenGL и Vulkan, разработка с использованием которых является кроссплатформенной [1], DirectX и Metal имеют более узкий круг поддерживаемых операционных систем (ОС): DirectX используется в ОС, разрабатываемых компанией Microsoft, а Metal — в ОС от компании Apple. Vulkan [1] — новый программный интерфейс трехмерной графики, превосходящий OpenGL по своим возможностям в части снижения накладных расходов, повышения степени прямого контроля над графическим процессором и уменьшения нагрузки на центральный процессор.

В данной работе рассмотрена разработка программного обеспечения с использованием интерфейса Vulkan, реализующего инструментарий для создания и реалистичной визуализации трехмерных сцен с применением алгоритма освещения PBR [2], учитывающего оптические свойства тел.



Рис. 1. Иллюстрация работы разработанного программного обеспечения для визуализации трехмерных сцен

Литература

1. **Селлерс Г.** Vulkan. Руководство разработчика / пер. с англ. А.В. Борескова — М.: ДМК Пресс, 2017. — 394 с.
2. **Pharr M., Wenzel J., Humphreys G.** Physically Based Rendering: From Theory to Implementation [Electronic resource]. — Electronic data. — Режим доступа: <https://www.pbr-book.org/>, май 2021 г.

В.В. Стеклов, студ.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СЕТИ ОТ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРОТОКОЛОВ

В настоящее время огромное количество устройств общаются между собой, используя сеть передачи данных. Участники сетевого взаимодействия обязаны согласовать друг с другом множество правил, которые объединяются в протоколы передачи данных. Протоколы нижних уровней сетевой модели OSI часто реализуются с использованием программных и аппаратных средств. [1] Все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами. [2]

В наше время очень актуальна проблема быстрой и надежной передачи информации. Повысить эффективность транспорта данных достаточно сложно. В зависимости от используемых транспортных протоколов время и качество передаваемой информации может сильно отличаться.

Таким образом, в научной работе определяются зависимости времени передачи данных от используемых протоколов транспортного и прикладного уровней. Эффективность передачи информации по сети во многом зависит от её рода. В исследовательской работе осуществляется передача графических изображений между двумя компьютерами, находящимися в одной локальной сети.

К разрабатываемой модели передачи данных определяются качественные оценки обслуживания. Чаще всего параметры, фигурирующие в разнообразных определениях качества обслуживания, регламентируют следующие показатели работы сети: [1]

- скорость передачи данных;
- задержки передачи пакетов;
- уровень потерь и искажений пакетов.

Относительно этих оценок осуществляется выбор наилучшего рассмотренного метода передачи информации.

Простейшая модель передачи данных разрабатывается на языке программирования C# с использованием технологий библиотек .NET. В работе также исследуется роль сжатия графической информации для её эффективной передачи по каналам связи.

Литература

1. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — 944 е.: ил.
2. **Руденков Н.А., Долинер Л.И.** Основы сетевых технологий: Учебник для вузов. Екатеринбург: Изд-во Уральского. Федерального ун-та, 2011. — 300 с.

Э.А. Чельшев, студ.; рук. М.В. Раскатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РУБРИКАЦИИ НОВОСТНЫХ ТЕКСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В последние годы все более возрастает объем производимых человечеством данных. Так, например, общемировой объем данных 2018 году составлял 33 зеттабайтов, а к 2025 году, согласно прогнозам, вырастет до 175 зеттабайтов [1]. Этот факт объясняет все более возрастающую потребность в использовании средств автоматической обработки информации.

Целью данной работы является разработка ориентированной на конечного пользователя информационной системы автоматической рубрикации русскоязычных новостных текстов с использованием алгоритмов машинного обучения.

В исследовании был использован размеченный набор данных [2], из которого были выделены новостные статьи, относящиеся к девяти рубрикам. В ходе работы были обучены четыре классификатора: на основе наивного байесовского классификатора, логистической регрессии, случайного леса решающих деревьев и искусственной нейронной сети. Обобщающая способность каждого из классификаторов была оценена с использованием метрик *precision*, *recall* и F_1 -меры [3]. Для возможности удобного взаимодействия пользователя с системой был разработан веб-сайт с использованием фреймворка языка Python Django.

В данном докладе рассматривается информационная система автоматической рубрикации новостных текстов на основе классификатора, продемонстрировавшего наилучшую обобщающую способность, а также описывается пользовательский интерфейс и функционирование входящего в состав информационной системы веб-сайта.

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: 11.03.2021).
2. News dataset from Lenta.ru [Электронный ресурс] // Kaggle: Your Home for Data Science. URL: <https://www.kaggle.com/yutkin/corpus-of-russian-news-articles-from-lenta>. (Дата обращения 08.02.2021)
3. **Чельшев, Э.А.** Разработка информационной системы для автоматической рубрикации новостных текстов / Э.А. Чельшев, Ш.А. Оцоков, М.В. Раскатова // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. — 2021. — Т. 6. — № 3(21). — С. 11–17.

Д.К. Ярчук, студент; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СТЕНДА НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Сегодня до 95 % изменений в сетях передачи данных выполняются вручную, в результате чего эксплуатационные расходы в 2–3 раза превышают стоимость сети передачи данных. Внедрение автоматизации ИТ-операций с централизованным и удаленным управлением необходимо предприятиям, чтобы идти в ногу с современными цифровыми технологиями. Непрерывная интеграция (Continuous Integration, CI) и непрерывное развертывание (Continuous Deployment, CD) представляют собой культуру, набор принципов и практик, которые позволяют разработчикам чаще и надёжнее разворачивать изменения программного обеспечения. [1]

Внедрение непрерывной интеграции в корпоративной сети требует согласование практик и требований непрерывной интеграции с необходимыми инструментальными средствами. Корпоративная сеть содержит множество разнообразных сетевых устройств разных производителей с разными версиями программного обеспечения. Поэтому для внедрения новых автоматизированных операций требуется стенд для отладки этих операций. [2]

В данной работе представлена методика разработки стенда непрерывной интеграции для корпоративной сети, который получен с использованием средства виртуализации Qemu, сетевого эмулятора Eve-ng, системы управления конфигурациями Ansible и системы управления изменениями GitLab. В работе рассмотрены основные настройки базовых протоколов корпоративной сети.

Разработанный стенд может применяться в образовательном процессе для получения обучающимися знаний о принципах работы современных методов автоматизации процессов в корпоративной сети.

Литература

1. Эделман Дж., Лоу С.С., Осулт М. Автоматизация программируемых сетей / пер. с англ. А.В. Снастина. — М.: ДМК Пресс, 2019. — 616 с.: ил.
2. Немет, Эви, Снайдер, Гарт, ХеАн, Трент, УэАли, Бен, Макни, Дэн. Unix и Linux: руководство системного администратора, 5-е изд.: Пер. с англ. — СПб: ООО «Диалектика», 2020. — 1168 с.

Э.Т. Садык, студент; Л.И. Абросимов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время информация о местоположении предоставляет полезные данные для широкого спектра приложений, включая отслеживание, помощь, автоматизацию, энергосбережение и т.д. Существует ряд технологий, которые можно использовать для задач определения местоположения. Одной из передовых популярных технологий позиционирования является GPS (Global Positioning System). Это спутниковая система, которая широко используется для определения локации, навигации и синхронизации времени. В отличие от внешней среды, где положение легко определяется с помощью GPS, использование этих систем в помещениях ограничено. Однако сложная внутренняя среда создаёт свои собственные проблемы с позиционированием.

Эффективность текущих реализаций варьируется в зависимости от используемых методов, хотя часто ограничивается функционированием только в условиях небольших испытательных стендов [1]. Отслеживание местоположения с помощью беспроводной локальной сети необходимо как более точный метод отслеживания внутри здания из-за отсутствия доступности Глобальной системы определения местоположения (GPS).

Исследованы возможности системы позиционирования в помещении с помощью беспроводной локальной сети. Подходы и алгоритмы локализации были выбраны для изучения, тестирования, оценки и сравнения на испытательном стенде (изображающем типичную внутреннюю среду), разработанном для этой цели.

Более подробно полученные результаты представлены в докладе.

Литература

1. **Tuan D Vy, Yoan Shin.** (2018). iBeacon indoor localization using trusted-ranges model. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 15(1) *Computer Science and Technology*, 15(01), p. 30–39. Retrieved from <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1550147718824304>.

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 докладе 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 докладе 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.
2. **Хайкин Саймон**. Нейронные сети. Полный курс. 2018 г. 1104 с.
3. **Шамаева О.Ю., Чернецов А.М.** Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 84 с.

Х. Хаю, студ.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ГИБРИДНЫХ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ БОЛЬШИХ СЕТЕЙ

Изменились требования к центрам обработки данных для удовлетворения растущих потребностей в трафике. Существует необходимость в простом, масштабируемом протоколе маршрутизации, который обладает гибкостью и простотой управления для поддержки больших сетей [1]. Протоколы дистанционно-векторной маршрутизации очень просты и легки в реализации, но они страдают от петель маршрутизации. Протоколы состояния канала, с другой стороны, обладают преимуществами быстрой сходимости, разделения домена маршрутизации за счет дополнительной сложности для реализации, настройки и устранения неполадок.

В данном докладе предлагается новый протокол без петли, который сочетает в себе простоту протоколов дистанционно-векторной маршрутизации, свободу петли и возможность использования в крупномасштабных ячеистых сетях, как и в протоколах состояния канала.

Протокол использует гибридный алгоритм дистанционно-векторный и состояния канала.

Проектирование и реализация архитектуры протокола подробно описаны в презентации.

Литература

1. **Premji, Ariff, et al.** "Use of BGP for Routing in Large-Scale Data Centers". Tech. Rep., Aug. 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17487/rfc7938>

Н.А. Наумов, студ.; рук. Л.И. Абросимов д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИМЕДИА ТРАФИКА В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

В настоящее время популярными методами исследования производительности сетей является имитация и эмуляция. Для исследования производительности сети для передачи трафика необходима разработка программ для генерации трафика.

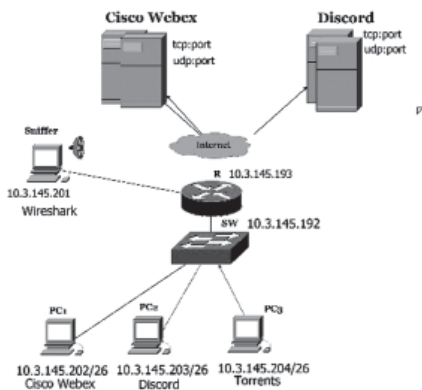


Рис. 1. Схема исследовательского стенда

Для получения BBX разработан стенд для сбора данных о мультимедиа трафике в корпоративной сети. На рис. 1 представлена схема стенда. В результате получены графические зависимости BBX трафика Cisco Webex и Discord с помощью средств регистрации доступа приложений к сети Интернет средствами операционной системы, а также записей перехваченного сетевого трафика в корпоративной сети.

Популярные современные приложения мультимедиа предъявляют высокие требования к сети передачи данных. Поэтому исследование производительности сетей передачи мультимедиа является актуальной.

Поэтому для решения задач оценки производительности требуется разработать правдоподобный генератор трафика современных приложений мультимедиа, например, Cisco Webex и Discord. Для программирования генератора трафика исследуемых приложений требуется получить вероятностно-временные характеристики (BBX) трафика таких приложений [1].

Литература

1. Junhui Zhang, Jiqiang Tang, Xu Zhang, Wen Ouyang, Dongbin Wang / A survey of network traffic generation // Conference: Third International Conference on Cyberspace Technology (CCT 2015).

Е.О. Успенская, студ.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Интеллектуальный анализ данных используется для извлечения новой и актуальной информации из больших объемов данных. Поскольку эти объемы продолжают расти, а результаты их анализа становятся все более важными, проблема выявления аномалий в них становится особенно актуальной. Результаты анализа без предварительного извлечения аномалий данных могут быть значительно искажены. Обнаружение аномалий относится к проблеме поиска закономерностей в данных, которые не соответствуют ожидаемому поведению [1].

Областью применения данной задачи является обнаружение подозрительных банковских операций, обнаружение неполадок в механизмах по показаниям датчиков, медицинская диагностика и другие. В настоящее время существует множество алгоритмов для поиска аномалий в различных типах данных, основанных на статистических и модельных тестах [2], однако использование методов машинного обучения в данной задаче имеет ряд потенциальных преимуществ [3].

Целью данной работы является исследование наиболее перспективных методов распознавания аномалий данных на основе машинного обучения, особенностей их реализации, а также их преимуществ и недостатков в сравнении с другими методами обнаружения аномалий.

В представленной статье описаны методы обнаружения аномалий путем кластеризации, классификации и при помощи нейронных сетей, а также особенности их реализации. Также был проведен обзор уже существующих методов и их сравнение. Проведенное исследование позволило определить ряд преимуществ и недостатков для каждого из рассмотренных методов на основе машинного обучения.

Литература

1. **Chandola V.** Anomaly detection: A survey / V. Chandola, A. Banerjee, V. Kumar // ACM Computing Surveys (CSUR). — 2009. — V. 41(3). — 72 p.
2. **Зубков Е.В.** Методы интеллектуального анализа данных и обнаружение вторжений / Зубков Е.В., В.М. Белов // Вестник СибГУТИ № 1, 2016.
3. **Hayes M.** Contextual anomaly detection framework for big sensor data / M. Hayes, M. Capretz // Journal of Big Data, vol. 2(2), 2015.

*А.А. Гаврилов, С.Д. Блаженова, А.А. Курушкина, студенты;
рук. А.Н. Зейн, ст. преподаватель, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

БАЗА ДАННЫХ И ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время на крупных предприятиях по разработке нового энергетического оборудования отсутствует единое информационное пространство для хранения результатов экспериментальных исследований, а также результатов моделирования энергетических процессов, что усложняет и увеличивает объемы исследовательской работы инженеров.

Поэтому было решено разработать программный комплекс, состоящий из базы данных [1] и приложения, для хранения, анализа и обработки результатов численных и экспериментальных исследований энергетических процессов. Наличие такого программного комплекса на предприятии позволит не только систематизировать данные, получаемые в ходе различных экспериментов, но также избежать потери опыта исследований при уходе сотрудника с предприятия.

Для того, чтобы облегчить работу инженерам, необходимо также хранить настройки программных комплексов для моделирования энергетических процессов, поскольку такие программные комплексы имеют очень широкие возможности для тонкой настройки задачи, и некорректная настройка может привести к существенному отклонению результата расчета от эксперимента.

Помимо вышеперечисленного, в данный программный комплекс было решено включить интеллектуальную систему [2], которая бы анализировала и обрабатывала существующие экспериментальные данные, а также данные моделирования и настроек, и рекомендовала бы настройки программных комплексов для моделирования новых задач. Это не только ускорит работу инженеров, но и уменьшит количество ошибок при подборе настроек. Также комплекс позволяет компенсировать недостаточность опыта у небольших предприятий, так как с помощью описываемого комплекса они смогут использовать данные о настройках и результатах экспериментов крупных предприятий.

Литература

1. **Новиков Б.А.** Основы технологий баз данных. — Москва: ДМК Пресс, 2019. — 240 с.
2. **Остроух А.В.** Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография / А.В. Остроух, А. Б. Николаев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 308 с.

*А. Т. Ельденев, А. Н. Маркин, Е. С. Юрченкова, студенты;
рук. С. В. Борисова, к. т. н., проф. А. Ф. Крюков (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY

В настоящее время является актуальным внедрение информационных технологий в систему образования. Информатизация образования и растущие требования к качеству и количеству высококвалифицированных специалистов приводят к необходимости разработки и внедрения инновационных образовательных методик и технологий, способствующих формированию новых форм обучения, не ограниченных пространственно-временными рамками.

Создание собственного образовательного приложения — процесс трудоёмкий и кропотливый, поэтому желательно использовать уже готовые решения. Одним из таких является платформа Unity, одна из самых популярных платформ для создания собственного приложения в настоящее время. Она уже имеет готовые решения всех многих проблем, таких как создание сцены, возможности размещения на этой сцене объектов, добавления физики в игру, возможности добавления какого-либо материала и многое другое. Для написания множества скриптов используется язык программирования C#.

В данном докладе можно ознакомиться с приложением, которое было разработано для ОС Windows, а также более подробно узнать об использованных инструментах, этапах разработки и полученном результате.

Литература

1. Официальная документация платформы Unity 3D: сайт. — URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>).
2. **Бонд, Джереми Гибсон.** UNITY и C#. Геймдев от идеи до реализации: 16+ / Джереми Гибсон Бонд; предисл. Ричарда Леменчандра; [пер. с англ. А. Киселев]. — 2-е изд. — Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2021. — 925 с.: ил.; 23. — (Для профессионалов). — ISBN 978-5-4461-0715-5.

В.М. Азаров, студ.; рук. А.В. Филатов, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ CUDA В МЕТОДАХ СЛУЧАЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В процессе проектирования интеллектуальных систем управления часто возникает задача определения наилучших значений параметров или структуры объектов. Такая задача называется оптимизационной. Сегодня оптимизационные задачи и задачи принятия решений моделируются и решаются в самых различных областях техники [1].

Наиболее распространенный вид модели рационального выбора — математические задачи оптимизации (максимизации или минимизации) некоторого функционала при ограничениях в виде неравенств. При этом выполнение ограничений для некоторого вектора параметров, определяющего решение, интерпретируется как допустимость этого решения, то есть, как возможность его реализации при имеющихся ресурсах.

В рамках работы над магистерской диссертацией была конкретизирована постановка задачи, был проведен обзор и выбор методов решения задачи многомерной оптимизации, для которых будет произведена разработка параллельных алгоритмов с использованием библиотеки параллельных вычислений на графическом ускорителе Nvidia GPU. Планируется разработать алгоритмы параллельного вычисления экстремума в задачах многомерной оптимизации для метода простого случайного поиска и для метода поиска наилучшей пробы с направляющим гиперквадратом.

Для оценки преимущества параллельных алгоритмов планируется произвести сравнения данных сравнительный анализ технологий последовательных и параллельных вычислений.

Предполагаемые языки разрабатываемой программы — C и C++, для разработки параллельных алгоритмов на графическом процессоре предполагается использовать программно-аппаратную архитектуру параллельных вычислений Nvidia CUDA.

Литература

1. **Захарова Е.М., Кузнецов Н.А., Минашина И.К., Пащенко Ф.Ф., Рябых Н.Г.** Моделирование алгоритмов оптимизации мультиагентной системы управления перевозочным процессом. Вестник Международной Академии Системных Исследований. Информатика, Экология, Экономика. 2014. Т. 16. № 1. С. 9–15.

М.Д. Новичков, асп.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УСКОРЕНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ НАД ЧИСЛАМИ БОЛЬШОЙ РАЗРЯДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Для решения научных и технических задач, таких как моделирование процесса диффузии, требуется быстрота и точность. Точность обычно достигается повышением разрядности данных, а скорость за счёт выбора таких методов вычислений, которые обладают естественным параллелизмом [1].

Традиционно используемая позиционная система счисления не имеет возможности распараллеливать на уровне арифметической операции из-за сильных связей между разрядами, хотя в высокоточных вычислениях размер чисел зачастую значительно превышает стандартные 64 разряда, порой достигая и 1000 десятичных цифр.

Для организации таких вычислений может использоваться распространённая в обработке сигналов и изображений система счисления в остаточных классах (модулярная арифметика, СОК) [2]. Кроме этого, СОК показала свою эффективность в задачах криптографии, функциональной надёжности вычислений и позволяет выполнять так называемые “безошибочные вычисления” (вычисления с отложенным округлением).

В данной работе проводится сравнительный анализ методов и алгоритмов выполнения арифметических операций в СОК и позиционной системе счисления. В частности, рассматривается алгоритмы SRT и подобные методу Баррета для позиционной операции деления, а для деления в СОК выбран алгоритм, представленный в работе [3].

Сравнение производится на основе разработанных имитационных моделей с дискретным модельным временем, исчисляемом в тактах.

Литература

1. **Маркова В.П.** Применение модулярной арифметики для моделирования диффузии. Автометрия, 2003, Т. 39, № 3, С. 60–71.
2. **Червяков Н.И.** О выборе диапазона системы остаточных классов для цифровой обработки изображений / Н.И. Червяков, П.А. Ляхов, Д.И. Калита // Инфокоммуникационные технологии. 2016. Т. 14. No2. С. 111–122.
3. **Новичков М.Д.** Исследование и разработка методов реализации операции деления в системе остаточных классов. Магистерская диссертация, Москва, 2019.

*А.Д. Лебедев, А.А. Курушкина, студенты;
рук. С.В. Борисова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЁТА ДОСТИЖЕНИЙ СТУДЕНТОВ

Проблема трудоустройства является одной из важнейших проблем для студентов высших учебных заведений. В свою очередь, работодатели заинтересованы в поиске новых перспективных сотрудников среди студентов на последних курсах обучения [2]. Однако, достаточно сложно найти достойного кандидата, основываясь исключительно на его успеваемости в рамках учебной программы. Поэтому работодателям приходится обращаться на кафедры за рекомендациями.

Для решения этой проблемы, следуя тенденциям цифровизации в образовании, была разработана система, предоставляющая возможность облегчить поиск нужных кандидатов [1]. Студенты в процессе своего обучения могут вносить в систему все свои достижения в различных областях с помощью веб приложения. Для добавления достижения необходимо заполнить все поля формы и предоставить сотруднику дирекции подтверждающие документы.

Сотрудники дирекции имеют возможность осуществлять поиск среди студентов через приложение для ПК. Поиск возможен как по данным студента, так и по данным о его достижениях. Поиск в этом случае может быть осуществлён по ключевым словам. Таким образом можно найти кандидатов с нужными работодателю навыками [2].

Одной из перспектив развития системы является добавление возможности поиска среди студентов по их достижениям непосредственно работодателями. Доступ к системе они будут осуществлять через веб приложение.

После окончания обучения, студент может получить распечатанный список всех его достижений в виде книжки. Такая книжка будет заверена дирекцией и впоследствии может использоваться при устройстве на работу как дополнение к основному резюме.

Литература

1. **Новикова О.И.** Управление образовательной организацией в условиях цифровизации и глобализации экономики. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 22 (260). — С. 564–565. — URL: <https://moluch.ru/archive/260/59984/> (дата обращения: 19.02.2021).
2. **Шинкаренко Е.А.** Взаимодействие вузов и бизнеса в трудоустройстве студентов. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. — 2014. — № 2 (30). — С. 156–167.

Ш.Х. Шихалиев, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В обработке изображений существует класс методов Super-resolution (SR), которые позволяют качественно увеличить разрешение исходного изображения. Супер-разрешение — это алгоритм восстановления изображения с высоким разрешением (HR) из данного изображения с низким разрешением (LR).

Супер-разрешение применяется, например: для обработки медицинских снимков, которые очень полезны для врача, и их детализация может оказать решающее влияние на правильность постановки диагноза; в задачах обработки спутниковых изображений высокое изображение поможет обнаружить мелкое тело, а эффективность распознавания образов в компьютерном зрении может быть улучшена, если разрешение рассматриваемого изображения будет высоким.

В основе алгоритма повышения разрешения изображения лежит алгоритм поиска ближайшего соседа. Поиск ближайшего соседа — вычислительно сложная задача, поскольку необходимо обрабатывать массивные наборы данных с высокой размерностью, поэтому важно использовать наиболее быстрый и при этом достаточно точный алгоритм для повышения разрешения. Точный поиск ближайшего соседа для этой задачи не совсем подойдет, так как он займет очень много времени. Поэтому, ранее в работе [1] использовался алгоритм нахождения приближенных ближайших соседей (ANN), который позволяет значительно ускорить его за счет предварительной обработки данных. Несмотря на это, скорость всё равно осталась узким местом и было принято решение сменить алгоритм на Annoy, описанный в [2]. Применение нового алгоритма поиска ближайшего соседа позволило значительно увеличить скорость. Например, для двухкратного увеличения изображения с разрешением 1024x1024 с применением предыдущего алгоритма понадобилось ~2057 мс, а с алгоритмом Annoy — 1200 мс.

Литература

1. **Ш.Х. Шихалиев, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»). Интеллектуальное повышение разрешения изображения // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика Двадцать седьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2021. — 1248 с. — с. 248**
2. **Алгоритм Annoy. [https://bit.ly/3CCn7a7] (Дата обращения: 20.11.2021)**

М.А. Игнатъев, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ SDN ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ DDoS-АТАК

В исследовательской работе проводится проектирование и разработка системы обнаружения вторжений в архитектуре программно-определяемой сети, которая реагирует на атаки с начала ее появления, обеспечивая «нормальную работу» сетевой инфраструктуры. Система обнаружения вторжений, должна автоматически обнаруживать несколько DDoS-атак, а затем при обнаружении атаки уведомлять контроллер программно-определяемой сети (SDN). В рамках исследования требуется предусмотреть возможность перенаправления трафика для оптимальной нагрузки на все каналы связи. Система обнаружения вторжений должна своевременно обнаруживать несколько типов кибератак, основанных на DDoS, снижать их негативное влияние на производительность сети и обеспечивать правильную доставку данных обычного трафика.

Предлагаемое решение имеет следующие характеристики: (1) оно сравнивает во время выполнения ожидаемую тенденцию нормального трафика с тенденцией отслеживаемого трафика; (2) если обнаруживается значительное отклонение в тенденции трафика, создается событие; (3) при возникновении события, связанного с атакой DDoS, контроллер SDN создает правила потока для блокировки вредоносного трафика; и (4) предположительно, что обнаружение и подавление DDoS-атаки осуществляется на каждом потенциальном источнике этой DDoS-атаки. Система имеет три критических этапа: обнаружение, информирование и подавление атаки. Фаза обнаружения — это способность системы обнаруживать DDoS-атаки. Фаза информирования происходит, когда IDS предупреждает контроллер об обнаруженной DDoS-атаке. Фаза подавления — это когда контроллер передает некоторые правила потока на локальный коммутатор, блокируя злонамеренный трафик. Эти правила потока постоянно хранятся в этом коммутаторе.

Литература

1. **Xia, W.** A survey on software-defined networking. IEEE Commun. Surv. Tutor. / W. Xia, Y. Wen, C.H. Foh, D. Niyato, H. Xie, 2020. — 51 с.
2. **Hu, F.** A survey on software-defined network (SDN) and OpenFlow: from concept to implementation. IEEE Commun. Surv. Tutor. / F. Hu, Q. Hao, K. Bao, 2020. — 2181–2206.

А.М. Быков, студ.; рук. Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕФАКТОРИНГА ИСХОДНОГО ТЕКСТА ПРОГРАММ

Важным этапом в цикле разработки программного обеспечения является рефакторинг исходного текста программ, который проводится для его упрощения, изменения его структуры с целью облегчения его поддержки и развития [1]. Существует множество различных методов рефакторинга [1, 2]. Программные средства для проведения автоматического рефакторинга позволяют проводить рефакторинг быстрее и корректнее, а также избежать ошибок, совершаемых программистом при проведении рефакторинга вручную.

Цель данной работы — разработка экспериментальной версии программного средства, проводящего рефакторинг исходного текста программ, разработанных на языках С и С++, методами извлечения класса, удаления параметра, передачи всего объекта и удаления присваиваний параметрам, а также исследование его работы статическим анализатором кода `Srcheck`.

В данной работе был проведен обзор и выбор существующих методов рефакторинга, языков программирования обрабатываемых программ, и программных средств для статического анализа кода. Были составлены алгоритмы проведения рефакторинга выбранными методами, ведется разработка экспериментальной версии программного средства, проводящего автоматизированный рефакторинг исходного текста программ.

Алгоритм рефакторинга методом извлечения класса позволяет разделить класс на два класса, содержащих меньше полей и методов. Алгоритм рефакторинга методом удаления параметра позволяет обнаружить неиспользуемые параметры в теле метода и удалить их. Алгоритм рефакторинга методом передачи всего объекта позволяет обнаружить несколько параметров, являющихся свойствами одного и того же объекта, и заменить их на данный объект. Алгоритм рефакторинга методом удаления присваиваний параметрам позволяет определить, изменяется ли значение параметра в теле метода, и, если меняется, заменить данный параметр на новую переменную, которой будет присвоено значение параметра, в результате чего значение параметра меняться не будет.

Литература

1. **М. Фаулер., Бек К., Брант Д., Робертс Д., Апдайк У.** Рефакторинг: улучшение существующего кода = *Refactoring: Improving the Design of Existing Code* (2000). — Спб: Символ-Плюс, 2009. — 432 с.
2. **Д. Кериевски.** Рефакторинг с использованием шаблонов = *Refactoring to Patterns*. — Вильямс, 2008. — 400 с.

*Н.С. Платонов, студ.; Я.Д. Парошин, студ.;
рук. Т.А. Маркина, к.т.н. (НИУ ИТМО);
рук. М.С. Волков (GS Labs (ООО «Цифра»))*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ УСТРОЙСТВ УМНОГО ДОМА DREHOME GS LABS С УСТРОЙСТВАМИ УМНЫХ ДОМОВ ДРУГИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ APPLE HOMEKIT

Традиционное электроустановочное оборудование на сегодняшний день является устаревшим. Так как в наши дни к системе безопасности и функциональности здания предъявляются все более строгие требования, настало время для полного пересмотра концепции планирования и прокладки кабельной сети. Главным образом пересмотру были подвергнуты следующие стандарты: приборы телекоммуникаций; бытовая техника; управление электроустановочным оборудованием.

При этом были разработаны следующие концепции:

- структурированная кабельная сеть телекоммуникационного оборудования, структура которого представляет собой иерархическую пирамиду управления;
- европейская инсталляционная шина EIB1 управления электроустановочного оборудования на основе равноправного управления. [1]

Для решения задачи интеграции различных устройств умного дома необходимо унифицировать данные, которыми обмениваются эти устройства.

Цель работы — разработка программного продукта, позволяющего умному дому DreHome интегрироваться в экосистему умных домов других производителей, чтобы обеспечить возможность пользователям не зависеть от фирмы-производителя.

В результате представлен алгоритм перевода пакетов данных от устройств умных домов других производителей в пакет данных, принимаемый контроллером умного дома DreHome.

Развитие данной темы в будущем позволит значительно упростить алгоритмы подключения устройств, работающих по различным протоколам.

Литература

1. **Харке В.** Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникации в жилищном строительстве. Москва: Техносфера, 2006. — 288 с.

Секция 16
УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
Control and intelligent technologies

Председатель секции: доц., к.т.н. Мохов Андрей Сергеевич

Секретарь секции: Гребенщиков Николай Ильич

Д.В. Шарова, студ.; Н.И. Гребенщиков, студ.;
рук. А.А. Новиков (НИУ МЭИ)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

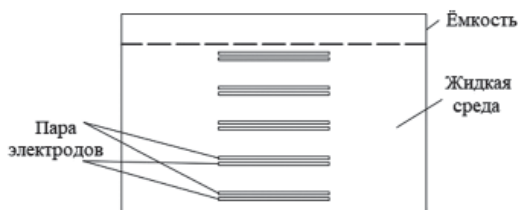


Рис. 1. Схема расположения электродов в ёмкости

Вода обладает электрогенераторными свойствами [1]. Эксперимент предполагает получение зависимости генерируемого тока на паре электродов от температуры жидкости, в которую помещены электроды. Данное устройство позволит определить фронт фазового перехода жидкости, что позволит контролировать процессы заморозки и разморозки. Расположение электродов показано на рис.1.

На электродах, помещенных в жидкость, возникает разность потенциалов. Разность потенциалов меняется в зависимости от температуры жидкости и ее фазового состояния. Изучение данной зависимости позволит контролировать температуру и фазовое состояние жидкости по электрогенераторным свойствам жидкости.

Экспериментальная установка может быть дополнена радиокомпонентами такими как, конденсатор, сопротивление или высокочастотный выпрямитель. Данная компонентная база предназначена для получения более четкой характеристики изменения разности потенциалов.

Возможно проведение опытов по определению изменения разности потенциалов в зависимости от расстояния между электродами, их формы и материала, а также дополнительного воздействия, такие как СВЧ излучение или магнитное поле.

Литература

1. **Воробьев В.А.** «Электрогенераторное свойство воды» *Агроинженерия*, по. 6 (88), 2018, с. 70–73.

В.В. Пыжов, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)

АСУ ВРЕМЕННОГО ХРАНИЛИЩА БАГАЖА В АЭРОПОРТУ

В современных реалиях больше половины населения России осуществляет путешествия на большие расстояния с помощью воздушных перелетов. В среднем в год осуществляется около 35 миллионов рейсов, со средней загруженностью самолета около ста человек [1]. Обеспечение удобства пассажиров — одна из самых важных задач аэропортов. Одним из требований к выполнению данной задачи являются наличие камер временного хранения багажа.

Обеспечение автоматизации будет осуществляться с помощью программируемого логического контроллера SIEMENS. Он обеспечит максимальное быстродействие системы и высокую точность исполнения программы.

В роли устройства для взаимодействия пользователя с системой будет использоваться панель SIMATIC TP700 comfort. В роли стенда, имитирующего временное хранилище и необходимые для его функционирования механизмы, будет выступать «Storing station» (рис.1). В нем присутствуют ячейки, играющие роль камер хранения, и устройства перемещения, позволяющие осуществлять перенос условной заготовки.

ПО TIA Portal была реализована программа АСУ складом. В ней проработаны процедуры складирования и возврата, возможные аварии и сигнализации. Были проведены реальные тесты программы на рабочем стенде, отлажены аварии.

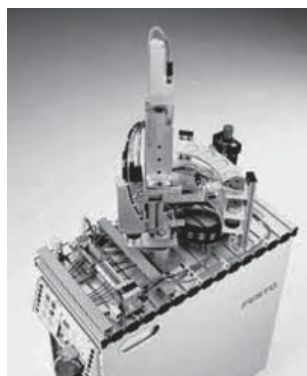


Рис. 1. Storing Station

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <https://lockerbox.ru/blog/avtomaticheskie-kamery-hraneniya-v-aeroportah-rossii>

В.В. Пыжов, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИЕЙ

В общей транспортной системе железнодорожный транспорт занимает ведущее место. Он помогает обеспечивать нормальное функционирование производства, жизнедеятельность людей в городах и сельской местности. Целью функционирования железнодорожной станции является обеспечение перевозки пассажиров, различных грузов, багажа [1].

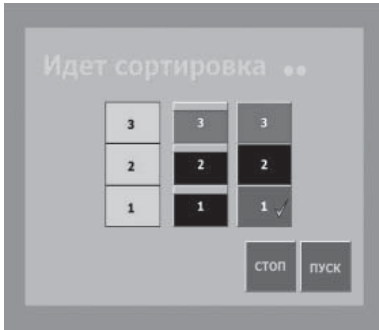


Рис. 1. Вид окна управления SCADA-системы

На рисунке 1 представлено окно управления сортировочной станцией.

В ходе работы была создана модель сортировочной станции, отображающая принцип её работы. Все действующие элементы станции были заменены на пневмоцилиндры и собраны в электропневматическую схему, реализованную в программе FluidSim-P. Также была разработана программа управления в среде SIMATIC STEP позволяющая своевременно осуществлять переработку вагонопотока и формировать новые составы поездов. В дальнейшем данная программа управления может быть подстроена под реальную модель станции.

Для того чтобы станцией можно было управлять удаленно в программе WinCC была создана SCADA — система, позволяющая оператору контролировать и управлять процессом сортировки с помощью сенсорной панели управления и также составлять отчетность о проделанной работе.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.transponet.ru/ranop-58.html>

М.А. Ипатов, студ.; рук. А.С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ГЕНЕРАЦИИ КОРОТКИХ ТЕКСТОВЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

В данной статье рассматриваются два подхода к построению моделей для генерации текстов — частотный (N-gram) и нейросетевой (GPT, Generative Pre-trained Transformer) [1], производится их настройка и сравнение результатов.

В данной работе модели сконструированы и обучены для генерации цитат и афоризмов на основе выборки данных, включающей в себя около 12.5 тыс. изречений различных авторов, из них 11 тыс. использовано для обучения.

Для N-gram-модели предсказание делается на основе частоты встречаемости N-го и предыдущих N-1 слов. В ходе исследований было выбрано $N = 3$. Для подсчета вероятностей применялось аддитивное сглаживание (1) с коэффициентом $\alpha=0,01$. Нейросетевые модели имеют более сложную архитектуру и способны находить глубокие закономерности в обучающих данных.

$$p_i = \frac{x_i + \alpha}{N + \alpha V}, \quad (i = 1, \dots, V) \quad (1)$$

Оценка качества модели, генерирующей текст, производится с помощью перплексии (perplexity) (2) [2] — это обратная вероятность тестового набора, нормализованная по количеству слов.

$$PP(W) = 2^{-\frac{1}{N} \log_2 P(w_1, w_2, \dots, w_N)} \quad (2)$$

В нашем исследовании (см.таблицу 1) лучший результат показала нейросетевая модель ruGPT3small [3]. Ее особенность заключается в том, что, будучи предобученной на большом объеме текстов, эта модель нуждается лишь в небольшом дообучении (fine-tuning).

Таблица 1. Результаты исследования

| | N-gram | ruGPT3 |
|-------------------|--------|--------|
| Перплексия | 314.37 | 6,65 |

Литература

1. A Comprehensive Guide to Build your own Language Model in Python! URL:<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/08/comprehensive-guide-language-model-nlp-python-code/>
2. Перплексия в языковых моделях URL:<https://habr.com/ru/company/wunderfund/blog/580230/>
3. Russian GPT-3 models: ruGPT3XL, ruGPT3Large, ruGPT3Medium, ruGPT3Small and ruGPT2Large. URL: <https://github.com/sberbank-ai/ru-gpts>

В.В. Щербаков, студ.; рук. В.Л. Елисеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТИ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

В современном мире всё большее значение приобретают технологии защиты информации, важной частью которых является криптография. Несмотря на высокий уровень развития криптографии, в последние годы всё большее внимание уделяется рискам, связанным с появлением в скором будущем эффективных квантовых компьютеров, критически снижающих стойкость современных криптографических алгоритмов. Одним из возможных ответов на данную угрозу является квантовое распределение ключей (КРК), использующее квантовые эффекты для генерации секретных ключей, используемых в дальнейшем при шифровании данных [1].

Для построения сетей КРК используется подход с доверенными промежуточными узлами (ДПУ). Сеть КРК функционирует подобно распределенной системе обслуживания запросов шифраторов на получение криптографических ключей. Однако такие сети обладают некоторыми особенностями, в частности, переменной интенсивностью выработки секретных ключей на сегментах сети. В таких условиях особое значение приобретает задача маршрутизации при передаче криптографического ключа через цепочку ДПУ. В существующих экспериментальных сетях для решения этой проблемы предлагалось использование особой топологии сети и применение в ней динамических протоколов маршрутизации [2].

Для исследования задачи маршрутизации в сети КРК была разработана модульная система моделирования на основе подхода систем массового обслуживания [3] для имитации потока заявок от шифраторов и их обслуживания сетью КРК. Модульность системы заключается в разбиении модели на несколько взаимодействующих частей, обслуживающих конкретные аспекты сети — ее топологию, маршрутизацию, вычисление метрик и непосредственно имитирующую пользовательские запросы часть, что позволит более тесно изучить влияние того или иного параметра на конечное состояние моделируемой сети.

Литература

1. **Граймс Р.А.** Апокалипсис криптографии. Пер. с англ. В.А. Яроцкого. М.: ДМК Пресс, 2020. — 290 с.
2. **M. Mehic, M. Niemiec, S. Rass, J. Ma, M. Deev, A. Aguado, V. Martin, S. Schauer, A. Poppe, C. Pacher, M. Voznak** Quantum Key Distribution: A Networking Perspective // ACM Comput. Surv. 53, 5, Article 96 (September 2020). 41 pages.
3. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. Пер. с англ. / Пер. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. — М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.

Е.А. Лаврухина, студ.; рук. А.С. Мохов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ВЫБОРКИ ДАННЫХ КЛИЕНТОВ БАНКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗИЦИИ

Предварительная обработка данных является важным этапом решения большинства задач машинного обучения, который влияет на итоговое качество решения задач. В данной статье будет описана обработка данных клиентов банка [1] и их транзакций для последующего решения задачи кластеризации.

В качестве исходных данных используется выборка, которая содержит анкетную информацию о 54245 клиентах и информацию о 3.95 млн транзакций в виде Id клиента, даты транзакции, идентификатора магазина, кода МСС.

Для начала была проведена работа с пропущенными данными в анкетах, в ходе которой было принято решение сократить количество признаков до 8 в силу большого количества пропущенных данных в 6 признаках, связанных с открытыми в банке продуктами. Затем была проведена кодировка категориальных признаков, которые были заменены на числа.

Далее в выборке транзакций клиентов банка проведена группировка мсс-кодов магазинов. Изначально выборка содержала 409 уникальных кодов, однако после анализа количества покупок, сумм транзакций и процента клиентов, совершивших покупки по данной категории, было выявлено, что часть кодов (8651, 5935, 8734, 6011, 6012, 8911) возможно удалить, т.к. по ним совершено мало транзакций, на малые суммы и малым процентом клиентов; а часть — объединить в более крупные категории, например, 8021 ('Стоматологи, ортодонты') и 8042 ('Оптометристы, офтальмологи') в 'Здоровье'. По итогу, в выборке осталось 87 кодов МСС.

Финальным этапом было формирование новых признаков для каждого клиента на основе их транзакций — его любимые категории (3 по количеству покупок и 3 по затратам), а также доля трат и доля количества транзакций в процентах по каждой из категорий.

По результатам работы была сформирована выборка клиентов банка, состоящая из 188 признаков каждого клиента для дальнейшего решения задачи кластеризации, т.е. определения групп похожих между собой клиентов.

Литература

1. Выборка. URL: <https://vc.ru/data-like> (дата обращения: 05.11.2021)

Д.А. Сайкова, студент; В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПОЗИТНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ЦЕНЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ВЫБОРКАМ

Показано, что при построении моделей прогноза (МП) точность может быть повышена за счет привлечения информации, полученной в ходе наблюдений для нескольких регионов с учетом корреляционной связи массивов. Опираясь на публикации [1, 2] доказано, что использование корреляционных матриц в расчетном выражении придает совместной оценке свойство нечувствительности к грубым отклонениям в данных.

Пусть y_t есть уровень временного ряда (ВР) в момент времени t ; $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$, — уровни ВР в соответствующие моменты времени $t-1, t-2, \dots, t-p$; p — глубина исторического ряда. Рассчитываемые оценки искомых зависимостей y_t могут быть представлены в виде вектора оценок вероятностных характеристик. Рассмотрим оценки математического ожидания:

$$\bar{Y} = \mu = [\mu_1, \dots, \mu_N]^T; \rightarrow \hat{\bar{Y}} = m = [m_1, \dots, m_N]^T \quad (1)$$

Пусть μ (1) есть N -размерный вектор оцениваемых вероятностных характеристик, μ_{ref} есть вектор значений рассчитанных по опорному (эталонному) массиву данных МДэ. Предполагается, что на основе априорной информации такой массив всегда может быть определен. Обозначим через μ_I и μ_{II} , соответственно, векторы вероятностных характеристик возможно существенно различающихся массивов (полученных по различным регионам) МД1 и МД2:

$$\mu_I = Ex [F_I] = \mu, \quad \mu_{II} = Ex [F_{II}] \quad (2)$$

где F_I, F_{II} есть матрицы, компоненты которых представляют собой элементы соответствующих массивов МД1 и МД2.

Предложена расчетная формула для оптимальной оценки m_{oi} :

$$m_{oi} = m_{II} - Cor\{F_{Ib}, F_{II}\} Cor^{-1}\{F_{Ib}, F_{II}\} (m_{II} - \mu_{ref}) \quad (3)$$

Результаты контрольных расчетов показали, что предложенная вычислительная процедура получения композитной оценки прогноза (КМП-модели) позволяет эффективно отфильтровать низкоточные массивы данных в процессе их совместной обработки за счет привнесенного «гибкого регулирования» посредством участвующих в расчетах корреляционных матриц.

Литература

1. Чэнь М., Цинь К., Ку Х.-М., Мишра П. Валидация на системном уровне. Перевод с англ. под ред. А.Н. Ланцева. М: Техносфера, 2014. — 296 с.
2. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. — М.: Сов.радио, 1973. — 256 с.

Ю.П. Гаврилин, студ.; рук. П.Е. Ганин (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

В работе рассматривается автоматизация процесса обслуживания пневматических распределителей при помощи программируемого логического контроллера (далее ПЛК) Siemens S7-300 [1]. Обслуживание производится электропневматическим стендом, представленным на рисунке 1.

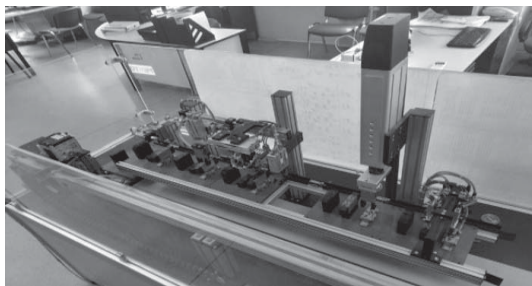


Рис. 1. Стенд обслуживания пневматических распределителей

В ходе работы, были разработаны две разные программы управления стендом, между которыми возможно переключение, что позволяет сказать, что такой вид управления достаточно гибок и имеет высокую степень масштабируемости. Также была разработана система удалённой диспетчеризации [2], которая позволяет удалённо контролировать весь технологический процесс.

За счёт небольшого количества механических элементов в контроллере, автоматизация при помощи ПЛК намного надежнее автоматизации при помощи релейно-контактных схем. Схема с ПЛК менее требовательна и имеет низкую стоимость обслуживания. Всё управление происходит при помощи программы управления, что значительно снижает сложность реализации управления и его отладки, по сравнению со схемами управления при помощи цифровых и релейно-контактных схем.

Литература

1. **Бергер Г.** Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400.
2. **Макаров И.М.** Управление робототехническими системами и гибкими автоматизированными производствами / И.М. Макаров, В.З. Рахманкулов, В.М. Назаретов и др. М.: Высш. шк., 1986. 159 с.

Р.А. Матузин, студ.; рук. Д.В. Шилин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СОРТИРОВОЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

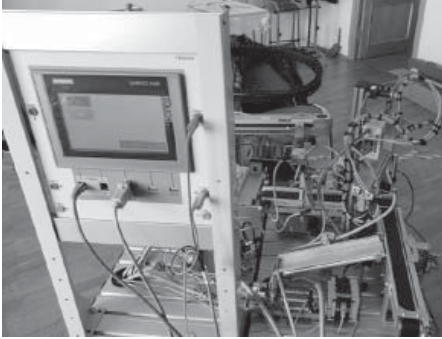


Рис. 1. Внешний вид стенда

Работа посвящена разработке алгоритма управления сортировочным комплексом АСУ ТП. Сортировка производится по заданным сценариям. Стенд для сортировки изделий представляет собой реальную модель технологического процесса сортировки (рис. 1), реализованная при помощи двух программируемых логических контроллеров Siemens модели CPU 313C-2 DP, операторной панели Siemens HMI TP700 comfort, пневматического и электрического оборудования компании Festo. Программа

управления разработана на программной платформе TIA Portal v.14 (Totally Integrated Automation), в состав которой входит Simatic step 7 и Simatic WinCC [1–3].

Результатом работы является физическая модель стенда, которая интегрирована в учебный процесс. Авторами работы разработан лабораторный практикум с индивидуальными заданиями, позволяющий производить контроль ключевых компетенций студентов. Разработанная система уникальная, масштабируемая и имеет клиент удаленного доступа через Интернет.

Литература

1. **Брюханов, В.Н.** Автоматизация производства / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
2. **Иванов, А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
3. **Капустин, Н.М.** Автоматизация производственных процессов в машиностроении. 2-е изд., стер. / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 2017. — 415 с.

*М.А. Бабочкин, асп.; О.А. Аносова, студ., К.Ю. Буленок, студ.;
рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САУ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ В СОСТАВЕ РЕГУЛЯТОРА ГРЕБЕНЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Использование в задачах управления широко распространенных в радиотехнике цифровых гребенчатых фильтров позволяет до 30% снизить мощность высокочастотных помех в управляющем сигнале [1, 2] по сравнению с вариантом реализации традиционных фильтров в составе управляющих микроконтроллеров. Кроме этого подобные фильтры обладают способностью существенно ослаблять нежелательные регулярные сигналы фиксированных частот, порождаемые различными преобразователями. Вместе с тем техническая реализация подобных фильтров в составе современных микроконтроллеров вызывает определенные сложности, связанные с реализацией транспортного запаздывания в структуре фильтров. В докладе обсуждаются результаты сравнительного полунатурного моделирования систем управления с традиционным регулятором и с регулятором, в составе которого реализуются гребенчатые фильтры. Для реализации последних были разработаны программы на языке C++ на ПК [3] и затем уже перенесены в микроконтроллер фирмы АО «ПКК Миландр» для полунатурного испытания. Для этого испытания была подготовлена схема сопряжения микроконтроллера, реализующего функцию регулятора со стандартным ПК. Объект управления, исполнительное устройство, датчик обратной связи и устройство сравнения, реализовывались на ПК. Полунатурные испытания показали хорошую согласованность полученных результатов, как с аналитическими расчетами, так и с результатами сравнительного моделирования.

Литература

1. **Бабочкин М.А., Колосов О.С., Кузнецова А.А.** Динамика непрерывных систем управления с элементами запаздывания в составе корректирующих фильтров // Вестник МЭИ, № 1, 2021. — С. 76–85.
2. **Бабочкин М.А., Буленок К.Ю., Колосов О.С.** Применение алгоритмов цифровой фильтрации при реализации ПИД-законов регулирования в системах управления // Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации: Тезисы трудов XXX Междунар. науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2021 г., Алуста. — М.: Изд-во МАИ. 2021. С. 110–111.
3. **Алалувев Р.В.** Основы программирования 32-разрядных микроконтроллеров 1986VE91T компании «Миландр»: руководство к выполнению лабораторных работ / Р.В. Алалувев, В.М. Глаголев, А.А. Мосур, Л.Л. Владимиров. — М., 2017. — 128 с.

*О.А. Чичерова, студентка;
рук. О.С. Колосов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ТЕРМОВ

В докладе представлены результаты анализа эффективности работы системы диагностики текущего состояния работающего объекта в зависимости от числа функций принадлежности термов лингвистических переменных. Обсуждаются системы диагностики, базирующиеся на нечетком логическом выводе [1]. Под эффективностью работы таких систем понимается возможность определять как можно точнее степень соответствия той или иной неисправности (патологии) данного объекта по набору конкретных цифровых значений признаков, принадлежащих конкретно данному объекту. Как известно [2, 3], эффективность работы подобных систем диагностики в первую очередь зависит от степени взаимных пересечений числовых значений признаков для разных неисправностей. Существующие методики [1, 3] построения систем диагностики учитывают такую взаимосвязь путем формирования определенного вида функций принадлежности термов лингвистических переменных. Однако пока явно недостаточно работ по обоснованию количества функций принадлежности и их распределению в области значений признака для повышения эффективности работы системы диагностики. В докладе на примере систем с малым числом признаков и ограниченным числом неисправностей (патологий) проводится анализ эффективности систем диагностики с применением разных сочетаний треугольных форм функций принадлежности и формулируются выводы.

Литература

1. **Анисимов Д.Н.** Дифференциация патологий сетчатки глаза на основе нечеткой логики / Д.Н. Анисимов, Ю.Ю. Астахова, Д.В. Вершинин, О.С. Колосов, М.В. Зуева, И.В. Цапенко // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2010. — № 2. — С. 56–60.
2. **Анисимов Д.Н., Вершинин Д.М., Колосов О.С., Зуева М., Цапенко И.В.** Построение систем диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта с учетом параметров динамической модели сетчатки. // Вестник МЭИ. — 2010. — № 4. — С. 26–33.
3. **Колосов О.С., Анисимов Д.Н., Хрипков Д.В.** Исследование многоуровневых нечетких диагностических систем с использованием стохастической модели // Мехатроника, автоматизация, управление, Т. 16, 2015, № 4. — С. 254–261.

А.А. Ларин, асп.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО КАК ОСНОВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗЛАДКИ

Рассматривается задача обнаружения разладки временного ряда $x(i)$ в условиях, когда его отсчеты $x_i, x_j; i \neq j$ независимы, а значения $x(i)$ подчиняются нормальному распределению с математическим ожиданием m_X и единичной дисперсией. Считается, что при разладке, происходящей в неизвестный момент времени t_0 , математическое ожидание скачкообразно изменяется от значения $m_X = m_0$ в отсутствии разладки до значения $m_X = m_1 > m_0$, соответствующего номинальной (ожидаемой) разладке.

Для решения данной задачи предлагается алгоритм, основанный на использовании метода скользящего среднего. Такой алгоритм (МА-алгоритм) изучен относительно слабо по сравнению с другими известными алгоритмами обнаружения разладки, такими как CUSUM- или EWMA-алгоритмы [1, 2].

С помощью имитационного моделирования выявлены основные особенности МА-алгоритма. В частности, найдены и систематизированы данные об их статистических характеристиках, получены зависимости среднего значения интервалов между ложными тревогами значения $\bar{T}_{ЛТ}$ от величины решающего порога h для разной ширины интервала усреднения N , а также средние значения запаздывания в обнаружении номинальной разладки $\bar{\tau}_{зап}$ при разных N и m_1 . Оценена эффективность МА-алгоритма, что позволило выделить наиболее эффективные варианты этого алгоритма. Проведено их сопоставление с аналогичным по назначению CUSUM-алгоритмом, что дало возможность выделить области их преимущественного использования. Полученные данные достаточны для целей синтеза контролирующей процедуры с заданными свойствами.

Для практической реализации имитационного моделирования разработана специальная программная система, позволяющая воспроизвести функционирование МА-алгоритма в ритме с поступлением очередных значений временного ряда $x(i)$.

Литература

1. **Roberts, S.W.** (1966). A Comparison of Some Control Chart Procedures. *Technometrics*. Vol. 8, № 3, p. 411–430.
2. **Shafid Ahmad.** Bibliometric Analysis of EWMA and CUSUM Control Chart Schemes. *ITEE Journal*, Volume 7, Issue 2, April 2018, pp. 1–11.

А.С. Федоров, студ.; рук. А.А. Новиков (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА

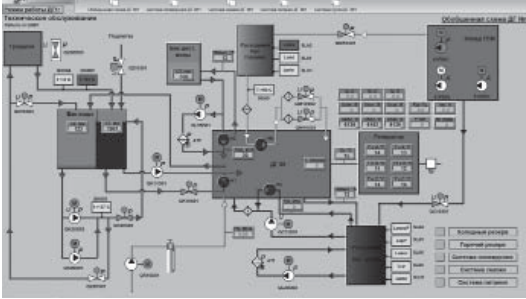


Рис. 1. Модель дизель генератора

Десятки тысяч малых населенных пунктов обеспечиваются электричеством за счет дизельных электростанций. Также они используются на производственных объектах, на которых ведется добыча нефти, газа и других природных ресурсов, расположенных в труднодоступных местах [1]. Благодаря построению модели АСУ дизель генератора, на

рисунке 1 представлена модель, для которой будет создана АСУ.

В ходе работы была создана модель АСУ дизель генератора в ПО TIA Portal. А именно разработана программа управления генератором и его подсистемами. А также SCADA — система в программе WinCC. Моделирование работы дизель генератором в виртуальной среде позволяет обучать оперативный персонал пользованию системой, а также обрабатывать аварийные ситуации.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <https://mks-group.ru/a/dizelnye-elektrostantsii> (Дата обращения 10.11.2021)

Д.А. Каленькин, асп.; М.Ю. Косинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРНОГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

С повышением уровня автономности летательных аппаратов (ЛА) и усложнением решаемых ими задач, проблема определения наилучшей траектории становится все более актуальной. При этом в качестве критериев могут выступать как отдельные показатели (наименьшее время полета, максимальная дальность и др.), так и их сочетание. Также при расчете необходимо учитывать ограничения, накладываемые характеристиками ЛА, условиями внешней среды и спецификой целевой задачи.

В результате получается многокритериальная задача оптимизации с ограничениями.

В настоящее время методы оптимизации имеют хорошую теоретическую базу, но их непосредственное применение на практике в условиях варьирования параметров может оказаться достаточно трудоемкой задачей. С учетом возможного применения на реальных изделиях, возникает проблема ограниченных вычислительных мощностей блоков управления ЛА.

Одним из возможных способов решения многокритериальной задачи является сведение её к задаче с комплексным критерием. Однако, для предметной области определения параметров траекторного движения, методика расчёта весовых коэффициентов частных критериев слабо формализована.

Однако, в пилотируемой авиации такие задачи успешно решаются пилотом при управлении самолётом, и накоплен значительный опыт, который можно было бы использовать при построении беспилотных систем. В свою очередь, в области использования слабо формализованной информации для решения задач управления хорошо себя зарекомендовали системы, основанные на применении математического аппарата нечёткой логики, который и предлагается применить для формирования комплексного критерия оптимизации.

Литература

1. **Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С.** Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, переработанное и доп. М., «Машиностроение», 1973, 616 с.
2. **Аоки М.** Введение в методы оптимизации. Перев. с англ., Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1977, 344 стр.

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

А.А. Гулько, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ КВАДРАТУРНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ ОСНОВНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ СИГНАЛА

Среди параметров сигналов электрических сетей наиболее важным является среднее квадратическое значение (СКЗ). Существуют следующие цифровые методов измерения СКЗ, которые успешно применяются при разработке: метод интегрирования, метод с использованием преобразования Фурье, метод квадратурной демодуляции и метод основанный на низкочастотной фильтрации [2]. В данной работе для измерения среднеквадратического значения основной спектральной компоненты был использован метод квадратурной демодуляции. Известно [2], что данный метод обладает наиболее высокой точностью.

Принцип действия квадратурной демодуляции основан на последовательном выделении частотных компонент входного сигнала путем его перемножения с ортогональными друг по отношению к другу гармоническими сигналами и последующей низкочастотной фильтрацией. Задачами выходного фильтра являются пропускание полезного сигнала (путем обеспечения минимальной неравномерности полосы пропускания для частот, на которых может находиться полезный сигнал), и подавление сигнала помехи. Данный метод достаточно трудоёмкий в реализации по причине применения цифрового фильтра относительно высокого порядка, но наиболее точный из рассмотренных, за счет некоторых дополнительных модификаций. К модификациям, повышающим точность метода можно отнести: подстройку частоты опорного сигнала, подстройка параметров фильтра в соответствии с частотой помехи, пост-фильтрация.

В работе рассмотрено влияние параметров фильтров на погрешность измерения СКЗ. Выполнено имитационное моделирование в программе Simulink. Получены результаты имитационного моделирования для каждого типа фильтров (Баттерворта, Чебышева первого и второго рода, эллиптического, Кайзера) для синусоидального и полигармонического сигналов. Результат показал, что наличие неосновных гармоник, для всех рассмотренных фильтров практически не приводит к увеличению погрешности измерения. Выявлено, что наименьшее значение погрешности достигается при использовании фильтра Кайзера.

Литература

1. **Fan Wang, Bollen M.H.J.** “Frequency-response characteristics and error estimation in RMS measurement,” IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, No19(4).
2. **Senchenko, A.R., Serov, A.N.** “Investigation of the Effect of ADC Imperfections on the Amplitude Spectrum Measurement Error for a Quadrature Demodulator Technique”, 2019.

А.Р. Сенченко, асп.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ АЦП НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КВАДРАТУРНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА

В настоящее время для измерения частоты как синусоидальных, так и полигармонических сигналов широкое применение находит метод, основанный на использовании квадратурной демодуляции [1].

Входной сигнал квадратурного демодулятора поступает с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Функция передачи реального АЦП неидеальна и характеризуется аддитивной и мультипликативной составляющими погрешности, погрешностью линейности и погрешностью квантования [2]. Все эти особенности влияют на погрешности измерения частоты, измеряемой с помощью квадратурного демодулятора. В данной статье рассмотрено влияние нелинейной составляющей погрешности на погрешность измерения частоты. Рассмотрено представление нелинейности АЦП в виде псевдо-случайной функции [3]. Показано, что предельная погрешность измерения частоты определяется удвоенной погрешностью измерения фазы. Получено соотношение, позволяющее оценить погрешность измерения фазы:

$$\Delta\varphi_{NL,max} = q \cdot INL \cdot (A_0 + A_1 / f_s + A_2 \cdot f_s),$$

где q — цена единицы младшего разряда АЦП; INL — значение интегральной нелинейности; A_0, A_1, A_2 — значения аппроксимационных коэффициентов; f_s — значение частоты дискретизации.

С помощью программного пакета Simulink построена модель квадратурного демодулятора и АЦП. Коэффициенты аппроксимационного полинома были получены с помощью имитационного моделирования. Рассмотрен демодулятор с БИХ-фильтром Баттерворта четвертого порядка. Достоверность аналитических соотношений подтверждена совпадением результатов, полученных путем применения аналитических выражений и результатов имитационного моделирования.

Литература

1. **A.N. Serov, N.A. Serov, S.I. Gerasimov.** Application of the Quadrature Demodulation for the Measurement of Electric Power Parameters // Proceedings of 18th International Symposium INFOTEN-ЯНГОРИНА (INFOTEN 2019), pp. 1–6, 2019.
2. **Михалин С.Н., Геворкян В.М.** Проблемы цифровой обработки сигналов в системе автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ) // Вестник МЭИ, 2005, № 1, с. 86–92.
3. **P. Suchanek, D. Slepicka, V. Haasz.** Several approaches to ADC transfer function approximation and their application for ADC nonlinearity correction // Metrology and Measurement Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 501–511, 2008.

К.А. Иваненко, асп.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ВРЕМЕННОГО СДВИГА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В современной электроэнергетике измерение реактивной мощности является одним из необходимых мероприятий для учета потребления электроэнергии. Для синусоидального сигнала под реактивной мощностью понимается величина, определяемая выражением [1]:

$$Q = 0.5 U_m I_m \sin(\varphi), \quad (1)$$

где I_m — амплитудное значение тока, U_m — амплитудное значение напряжения; φ — фазовый сдвиг между током и напряжением.

Известно, что [2] физическим смыслом реактивной мощности является мощность, необходимая для поддержания электромагнитного поля реактивных элементов (конденсаторов и катушек индуктивности) в электрической цепи. Большинство методов измерения реактивной мощности базируются на выполнении фазового сдвига между током и напряжением на 90 градусов, одним из них является метод временного сдвига [1].

Идея реализации данного метода заключается в обеспечении фазового сдвига тока или напряжения на $\pi/2$ путем выполнения временного сдвига.

$$\sin(\omega(t - \tau) + \varphi), \quad (2)$$

где τ — временная задержка сигнала, ω — угловая частота сигнала, φ — фаза между током и напряжением.

После выполнения временного сдвига выполняется измерения активной мощности одним из цифровых методов [3].

В работе получены аналитические выражения, позволяющие оценить погрешность измерения реактивной мощности при применении предлагаемого способа измерения. Показано, что основная составляющая погрешности связана с отклонением частоты входного сигнала от номинального значения. Рассмотрена погрешность, возникающая при измерении полигармонического входного сигнала. С помощью программного пакета Simulink построена модель имитационного моделирования рассматриваемого метода измерения реактивной мощности.

Литература

1. **Moulin E.** Measuring reactive power in energy meters. — Norwood: Analog Devices, 2002.
2. **Кузнецов В.А., Долгов В.А., Коневских В.М. и др.** Измерения в электронике: Справочник — М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. **Igor V. Levashov; Alexander A. Shatokhin; Andrey N. Serov.** Comparative Analysis of the Digital Measurement Methods of Active Power with the Application of Approximation Polynomials // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon).

*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].

Известно, что использование «критерии интервального вида» (КИВ) имеет большую область применения. Также известны критерии, например, приведённые в работах [2–4], использующие другие методы определения момента начала установившегося режима ПП. Основой этого метода составляет «критерий с анализом производных» (КАП). При этом могут использоваться производные от нулевой до второй степени.

В работе [1] был выделен интервальный критерий с ограничением в виде критической постоянной критерия (КПК). 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 неопределённостью. 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.

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.
3. **John W. Welch.** Assessment of Thermal Balance Test Criteria Requirements on Test Objectives and Thermal Design // The Aerospace Corporation, 2310 El Segundo Blvd., El Segundo, CA 90245 // 46th International Conference on Environmental Systems.
4. АС № СР 855688Ф1 **Гафуров А.А., Тизенгаузен А.М., Исаков Д.М.** Устройство для распознавания конца переходного процесса // Бюллетень № 30 опубликован 15.08.81.

*Нэй Мью Чжо, асп.; Д.Ш. Тошходжаев, студ.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

При построении первичных измерительных преобразователей неэлектрических физических величин целесообразно использовать результаты теории инвариантности, разработанной академиком Б.Н. Петровым. Это выразилось в применении двух чувствительных элементов (ЧЭ) для образования системы из двух уравнений преобразования измерительной информации.

Эти положения теории инвариантности используются в тепловом неразрушающем контроле и определении теплофизических характеристик материалов [1, 2], в частности, композитных материалов. Причём дифференциально включенные ЧЭ могут быть различной природы, быстродействующими или инерционными.

Примером экспериментальных измерительных данных может служить работа [3], в которой приведены результаты исследований и определения погрешностей определения глубины залегания дефектов по толщине пластины, полученные путём импульсного активного способа теплового контроля. Результаты приведены для зависимостей изменения превышений температуры на поверхностях пластины во времени. Причём анализу подлежат, только интервалы достижения максимального значения температуры на противоположных поверхностях термопрофилей.

Целью настоящего исследования является анализ погрешности результата измерения глубины залегания дефекта, которая оценивается в зависимости от метода определения экстремального значения температуры на термограмме. Другой переменной при исследованиях является динамическая погрешность при on-line режиме обработки сигналограммы.

Литература

1. **Будавин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В.** Тепловой контроль: учебное пособие/ под общ ред. В.В. Клюева. — М.: Издательский дом «Спектр», 2013. — 176 с.
2. **Вавилов В.П.** Инфракрасная термография и тепловой контроль. — М.: Издательский дом «Спектр», 2013. — 544 с.
3. **Будавин О.Н., Вячкин Е.С., Вячкина Е.А., Каледин В.О., Козельская С.О.** Экспериментальные исследования ультразвуковой тепловой томографии (УЗ-термографии) композитных материалов // Контроль. Диагностика. № 6, 2019. — С. 58–62.

*Нэй Мью Чжо, асп.; О.С. Федун, студ.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МЕТАНОМЕТРА С МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ДИАГНОСТИЧЕСКИМ САМОКОНТРОЛЕМ

Как показано в работах [1–3] применение автоматической коррекции погрешностей измерительных устройств в первичных измерительных преобразователях (ПИП) неэлектрических физических величин (ФВ) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими, не менее важными, применениями в средствах измерения. Эта тенденция появилась в России, и получает развитие в метрологическом диагностическом самоконтроле (МДСК) датчика силу известных причин уже на протяжении более полувека [4].

Основой для развития принципов МДСК является теория инвариантности [1], которая передала эстафету использования не менее двух каналов при построении интеллектуальных ПИП. Это выразилось в применении двух чувствительных элементов (ЧЭ) для образования системы из двух уравнений преобразования измерительной информации. Если уравнения преобразования линейные, то реализуются аддитивный, мультипликативный или логотрический способы исключения влияния возмущения на результат измерения.

Целью настоящего исследования является анализ применения принципов МДСК в структурах термокаталитических метанометров. Стимулом для подобных исследований является формальное подобие структуры интеллектуального датчика и современных метанометров. Главное отличие от типовой структуры ПИП, состоит в том, что газоанализаторы относятся к взрывозащищённому электрооборудованию.

Литература

1. **Петров Б.Н., Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С.** Принцип инвариантности в измерительной технике. — М.: Наука, 1976. — 244 с.
2. **Земельман М.А.** Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М.: Издательство стандартов, 1972. — 199 с.
3. **К. Sapozhnikova, I. Baksheeva, R. Taymanov.** Improving reliability of power plant equipment due to measurement information redundancy // 19th International Congress of Metrology, 2019.
4. **Пронин А.Н., Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е.** Достоверность измерительной информации в системах управления. Проблемы и решения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015. Том. 9. — № 3. — С. 32–37.

Нэй Мью Чжо, асп.; И.И. Шодиев, студ.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ С ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ В ВИДЕ ЦЕПНОЙ ФУНКЦИИ

В настоящее время для определения момента окончания динамического режима (МОДР) при испытаниях сложных объектов (СО) широкое распространение получили «критерии интервального вида» (КИВ). Рекомендации по их использованию закреплены в ряде отечественных и зарубежных стандартов. Эти критерии, по умолчанию, предполагают в качестве базовой модели переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ) динамическую модель первого порядка. Известны исследования КИВ для моделей второго и третьего порядков. Они позволили распространить ограничение на использование КИВ в виде критической функции критерия (КФК).

Однако динамика реальных СО может описываться и в более сложной форме, чем типовыми передаточными функциями (ПФ), например, как в работе [1] для аппроксимации кривой нагрева электродвигателя по экспериментальным данным. Для этого используются цепные экспоненциальные функции (ЦЭФ). Данное представление характеризуется тем, что зависимость постоянной времени модели во времени не являются постоянными. Методика декомпозиции ПФ с помощью цепных дробей изложена в монографии [2], где рассмотрен итерационный алгоритм разложения дробно-рациональной функции в цепную дробь.

Задачей настоящих исследований является установление применимости КИВ для определения МОДР в ИЦ с переходной характеристикой, представленной в терминах ЦЭФ. Необходимо проверить методику определения КФК, изложенную в работе [3], для нового способа использования КИВ совместно с ЦЭФ.

Литература

1. **Петров И.И. Мейстель А.М.** Применение цепных экспоненциальных функций при расчете нагрева асинхронных короткозамкнутых двигателей. // *Электричество*, № 8, 1965. — С. 7–13.
2. **Алпатов Ю.Н.** Моделирование процессов и систем управления: Учебное пособие. — СПб.: Лань, 2018. — 140 с.
3. **Y.S. Bekhtin, A.A. Lupachev, P.K. Makarychev, N.A. Serov, V.S. Khodyreva, A.R. Petsinyarzh.** Using oscillatory dynamics of the measuring circuit in the interval criterion of the steady — state value estimator. // 28th National Scientific Symposium with international participation “Metrology and Metrology Assurance 2018”, 2018. Sozopol, Bulgaria. — pp. 125–128.

*А.В. Коваленко, студ.; Н.М. Чжо, асп;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РОБАСТНЫЙ ИНТЕРВАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ

При испытаниях сложных объектов принято использовать стандартизованные критерии для определения момента окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ). Критерии интервального вида (КИВ) осуществляют анализ текущего приращения сигнала ПП в ИЦ. Данный тип критериев осуществляет наблюдение за ПП сигнала в ИЦ в режиме on-line[1].

Несмотря на то, что КИВ работают без достаточной априорной информации о порядке модели, в работе рассматриваются только ПП с динамикой первого порядка. В работе будут приведены оценки работы робастного критерия с учетом сигнальной и параметрической неопределенности.

Робастность критерия к какой-либо неопределенности означает его нечувствительность к ней. В данном случае робастность интервального критерия обеспечивается неявной эталонной моделью. Эталонная модель позволяет определить критическое значение постоянной времени ПП, после которого КИВ выдает ложноположительное решение.

Алгоритм робастного интервального критерия (РИК) — модификация КИВ — для определения момента окончания (ОМО) ПП. Управляемым параметром РИК является длительность интервала наблюдения (ИН) за сигналом ПП. На основании этой длительности вычисляется текущее значение критической постоянной времени (КПК) и параметров эталонной модели.

Первая оценка связана с относительным отклонением времени определения установившегося значения от апостериорной продолжительности переходного процесса при ДУ ДП. Вторая оценка определяется относительным отклонением достигнутой динамической погрешности от допускаемого уровня относительной динамической погрешности первого рода.

Результаты исследования показали, что разница между допускаемой и достигнутой динамической погрешностью находятся в зависимости от интервала наблюдения [2].

В ходе исследования не обнаружено ложноположительных срабатываний модифицированного критерия, что позволяет сделать выводы о высокой достоверности результатов работы робастного интервального критерия.

Литература

1. **Bekhtin Yu.S., Lupachev A.A., Nay Myo Kyaw, Kovalenko A.V., Petsinyarzh A.R.** Robastnyy intervalnyy kriteriy ustanovivshegosya znacheniya // Materialy konferentsii. 30-th National Scientific Symposium with international participation “METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2020”. 2020. Sozopol. Bulgaria. DOI:10.1109/MMA49863.2020.9254256
2. **Yury Bekhtin, Aleksey Lupachev, Sergey Grabarev, Andrey Kovalenko, Vadim Poida and Nay Myo Kyaw** Robust interval criterion steady-state value with a tunable reference model // 31-th International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance 2021”, 2021. Sozopol, Bulgaria.

А.В. Попов, студ.; рук. А.Н. Серов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В SIMULINK

Измерительные преобразователи напряжения являются составными частями как аналоговых так и цифровых измерительных приборов. В случае цифровых измерительных приборов и преобразователей данные устройства служат для согласования уровня входного сигнала преобразователя и входного уровня АЦП, входящего в состав конечного разрабатываемого устройства. Другой функцией измерительного преобразователя является ограничение спектра входного сигнала для исключения эффекта «наложения спектра» (выполнения теоремы Котельникова) [1].

Целью настоящей работы является создание имитационной модели типового измерительного преобразователя напряжения в программном пакете Simulink. Отличительными свойствами модели является возможность преобразования дифференциального входного сигнала и учет ряда точностных характеристик типовой элементной базы.

Компоненты, имитирующие принцип работы масштабирующего устройства (МУ) и аналогового фильтра (АФ), были объединены в соответствующие подсистемы, на которые были наложены маски, параметры блоков входящих в состав подсистем передаются через диалоговые окна. В докладе будут представлены подробные схемы всех реализованных в работе блоков.

В полученной модели была рассмотрена возможность управления следующими параметрами. Для блока моделирования МУ: номинальное значение коэффициента усиления; мультипликативная составляющая погрешности; первый полюс амплитудно-частотной характеристики; ограничение входного диапазона сигнала. Для блока моделирования АФ: граница полосы пропускания; максимальная неравномерность в полосе пропускания; минимальное затухание в полосе заграждения; порядок фильтра; значение мультипликативной составляющей погрешности.

Так как данная модель создавалась с целью оценки влияния ЭДС смещения и входных токов дифференциальных и операционных усилителей на выходное напряжение схемы, эти параметры задаются в диалоговом окне внешней маски «Преобразователь напряжения».

Литература

1. **У. Кестер.** Аналого-цифровое преобразование // М. Техносфера. — 2007. — 1016 с.

К.М. Воробьев, асп.; рук. Ю.С. Бехтин, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ PYTHON

Для разработки методов и алгоритмов улучшения качества 3D ультразвуковых изображений (УЗИ) металлических изделий сложной формы, формируемых с помощью фазированных антенных решёток, необходимо иметь эффективные средства моделирования из-за сложности возникающих задач [1,2]. Имитационное моделирование позволяет, частично абстрагируясь от физической природы явлений, создавать симуляцию пространства и объекта наблюдения (металлического изделия сложной формы). При этом необходимо учитывать такие особенности формирования 3D УЗИ, как наличие дефектов и спекл-шума, являющегося следствием случайных фазовых отклонений отраженного ультразвукового луча.

Программный код имитационной модели разработан с применением средств визуализации библиотеки VPython для формирования 3D УЗИ. Геометрическое положение фазированной антенной решётки и пространственное положение объекта моделирования задавались через тензорное представление исходных 2D матриц. Для моделирования дефектов и искажений, вызываемых спекл-шумом, использовались операторы из библиотеки Math среды моделирования Python. В ходе создания имитационной модели предложен алгоритм обнаружения видимых частей объекта, которые считаются источниками отражённого ультразвукового луча. При этом параметры отражённого излучения учитывают амплитудные и фазовые искажения из-за воздействия спекл-шума.

Литература

1. **P. Singh, and R. Mukundan**, “Synthetic Models of Ultrasound image formation for Speckle Noise Simulation and Analysis”, International Conference on Signals and Systems ICSigSys, 2017.
2. **K. Edelman**, “Understanding Ultrasound Physics”, E.S.P. ultrasound, 4th edition, 2012.

В.В. Пойда, асп.; рук. А.А. Лупачёв, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО САМОКОНТРОЛЯ В ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

Термокаталитические измерительные преобразователи получили наибольшее распространение для измерения количества метана в большинстве отраслях промышленности. Эффективность применения преобразователей такого типа во многом зависит от надежности самих датчиков. Ручное несвоевременное выполнение операций поверки и контроля работоспособности ведёт к материальным расходам и в худшем случае к катастрофам на производстве. Поэтому необходимо рассмотреть способы применения методов метрологического самоконтроля для термокаталитического измерительного преобразователя.

Согласно [1] выбор метода метрологического самоконтроля должен опираться на анализ составляющих погрешности датчика. Определение критической составляющей погрешности является ключевым фактором выбора метода. Термокаталитические преобразователи подвержены отравлению химическими соединениями в процессе эксплуатации, что ведёт к смещению точки нуля и потери чувствительности датчика [2].

Метрологический самоконтроль, как указано в [1], должен опираться на дополнительные данные, получаемые за счет структурной, временной и функциональной избыточности. Кроме того, комбинация данных видов избыточности позволяет увеличить объем дополнительных данных.

Габариты и стоимость современных термокаталитических датчиков позволяют ввести структурную избыточность. Введение дополнительного термокаталитического преобразователя и использование его в тестовом режиме (в специальные временные отрезки эксплуатации датчика) позволит использовать в качестве опорного значения среднее значение выходного сигнала всей совокупности измерительных преобразователей, определенное при предшествующей калибровке [1].

Временная избыточность может быть реализована при измерении разницы сигналов в двух разнесенных по времени точках переходного процесса частичного выгорания газа на чувствительном элементе.

Реализация данных методов и управление измерениями регламентируется с помощью алгоритмов выполняемых на микропроцессорной технике. Сигнал с выхода термокаталитических преобразователей предварительно преобразуется в код.

Литература

1. **ГОСТ Р 8.734-2011** Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. — М.: Стандартинформ, 2011.
2. «Термокаталитический метод измерения концентрации газов — УРАЛ-ТЕСТ» [Электронный документ] / Режим доступа: <https://ural-test.ru/help/article/termokataliticheskij-metod-izmereniya-kontsentratsii-gazov/> (дата обращения 15.09.2021).

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. Барат Вера Александровна,
Быков Алексей Александрович*

*Е.В. Гарнышова, асп., Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф.;
рук. Е.В. Измайлова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ОТ ПЛОТНОСТИ ОСАДКА

Для выявления зависимости собственных частот колебаний поверхностей теплообмена трубопроводных систем от плотности отложений были проведены расчеты в ANSYS. В качестве модели поверхности теплообмена была взята пластина из структурной стали размером 400x160x2 мм, зашумленной с двух сторон [1]. В качестве отложений были взяты оксиды кальция, магния, железа и кремния, характеристики которых приведены в табл. 1. Толщина отложений для каждого вида 2,5 мм.

Таблица 1. Характеристики отложений, использованных в ANSYS

| Характеристики | SiO ₂ | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Плотность, г/см ³ | 2,65 | 3,37 | 3,58 | 7,8 |
| Модуль Юнга, дин/см ² | 16,9·10 ¹¹ | 2,0–2,5·10 ¹¹ | 4,25·10 ¹¹ | 21,2·10 ¹¹ |
| Коэффициент Пуассона | 0,262 | 0,25 | 0,3 | 0,29 |

На рис. 1 показаны графики зависимости плотности отложений от собственных частот колебаний, где 1 — оксид Fe₂O₃, 2 — оксид MgO, 3 — оксид CaO, 4 — оксид SiO₂.

По полученным данным видно, что с увеличением плотности отложений увеличиваются собственные частоты колебаний пластины.

Наличие отложений изменяет массу конструкций и, следовательно, собственные частоты колебаний, по анализу которых можно определить не только наличие и толщину отложений, а также вид, так как разные отложения имеют разную плотность.

Работа выполнялась в рамках гос. задания № 075-03-2021-175/3.

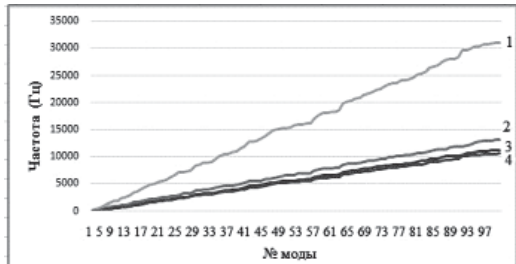


Рис. 1. График зависимости плотности отложений от собственных частот колебаний

Литература

1. Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В., Измайлов В.В. Зависимость частоты колебаний поверхности теплообмена от толщины осадка. Тезисы докладов XXV Международной научно-технической конференции «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». — М: МЭИ, 2019. С. 307.

*Е.В. Измайлова, к.т.н., доц., Е.В. Гарнышова, асп.;
рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф. (КГЭУ, Казань)*

ЗАВИСИМОСТЬ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА ОТ НАГРУЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ

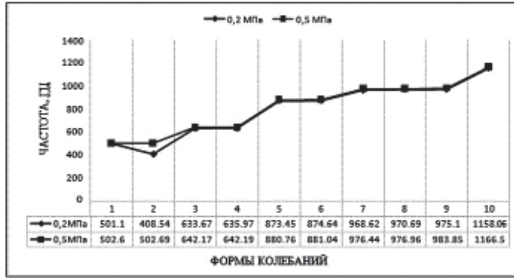


Рис. 1. Изменения частот трубопровода в зависимости от создаваемого в нем давления

треннюю стенку трубопровода и осуществлен анализ структурно-жидкостного взаимодействия в ANSYS [1].

На рис. 1 приведены наиболее характерные результаты расчета дефектных участков трубопровода под воздействием внутреннего давления (0,2 и 0,5 Мпа).

Анализ результатов показал, что частоты моделей с дефектами возрастают с увеличением давления жидкости [2].

Работа выполнялась в рамках гос.задания № 075-03-2021-175/3.

Литература

1. **Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В.** Применение ANSYS для определения частот колебаний трубопровода. Тезисы докладов XXVII Международ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. — М.: МЭИ, 2021. С. 319.
2. **Ваньков Ю.В., Серов В.В., Измайлова Е.В.** Анализ изменения частот трубопровода в результате развития коррозионного дефекта и варьирования давления теплоносителя. Труды XI Междунар. Симпозиума «Энергоресурсо-эффективность и энергосбережение». Казань: ЦЭТ РТ при КМ РТ, 2010. С. 89–93.

А.Г. Власова, асп.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н. (НТЦ УП РАН, Москва)

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТОВ

Один из методов неразрушающего контроля рельефа, деформаций и микроперемещений объектов является цифровая голография (ЦГ) [1]. В настоящей работе рассматривается возможность применения данного метода для анализа параметров труднодоступных объектов с помощью эндоскопической системы технического зрения. Для этого предлагается использовать модуль для цифровой голографической микроскопии на основе интерферометра общего пути «Линза в линзе» [2]. Он состоит из двух последовательно расположенных линзовых компонентов. Первый компонент состоит из двух линз, в одной из которых сделано отверстие, в которое вставляется такая же линза меньшего диаметра. Световые пучки на выходе интерферометра создают интерференционную картину, которая регистрируется приемником излучения и в дальнейшем обрабатываются программно с целью извлечения необходимой информации.

Интерференционный модуль располагается на выходе оптического эндоскопа и позволяет дополнить его функцией измерения волнового фронта. В настоящей работе основные параметры данного модуля были исследованы на примере анализа микроструктуры оптически прозрачных объектов (рис. 1).

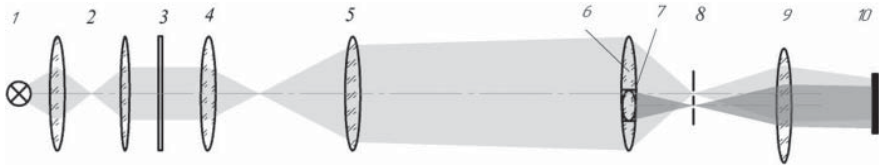


Рис. 1. Оптическая схема исследования микроструктуры объектов с интерференционным модулем: 1 — источник излучения, 2 — конденсор, 3 — объект, 4 — микрообъектив, 5 — тубусная линза, 6 и 7 — первый компонент интерферометра, 8 — пространственный фильтр (точечная диафрагма), 9 — второй компонент интерферометра, 10 — матричный приемник излучения

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-51001.

Литература

1. **Myung K. Kim** Digital Holographic Microscopy: Principles, Techniques, and Applications / Kim Myung. K. — New York: Springer Series in Optical Sciences, 2011. — P. 240.
2. **Патент № 2673784 С1 Российская Федерация**, МПК G01B 9/02, G01N 21/45. Двухкомпонентный интерферометр общего пути: № 2018104845 опубл. 29.11.2018 / А.С. Мачихин, О.В. Польщикова, А.Г. Рамазанова.

Е.И. Архипов, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА НА ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

Импульсный вихретоковый метод все чаще используется для контроля толщины непроводящих покрытий металлических конструкций, а также многослойных изделий, где дефекты, вызванные усталостью металла, нередко возникают во внутренних слоях. Такие дефекты практически невозможно обнаружить с помощью традиционных методов контроля, таких как классический вихретоковый или ультразвуковой.

Замечено, что экспоненциальные кривые выходных импульсных сигналов для разных зазоров пересекаются в одной точке (рис. 1 и 2), в так называемой Lift-Off point of Intersection (LOI) [1]. При этом градиент сигнала (наклон характеристики) в точке пересечения LOI однозначно характеризует величину зазора.

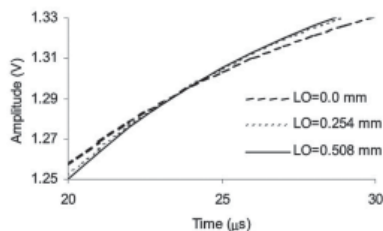


Рис. 1. Влияние зазора (LO — зазор) на сигнал

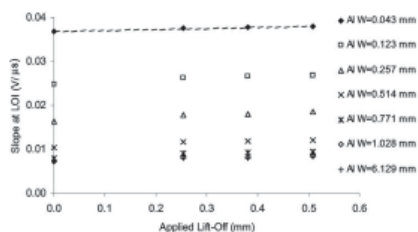


Рис. 2. Градиент сигнала от толщины (ALW — толщина алюминиевой пластины)

Задачей этой работы было построить конечно-элементную модель (в среде COMSOL Multiphysics) процедуры импульсного контроля с учетом реальных характеристик соответствующих преобразователей и провести модельные испытания модели на исследовании влияния зазора на выходной сигнал при решении практических задач точной оценки толщин покрытий, а также обнаружения усталостных трещин внутри конструкций.

Литература

1. Lefebvre J.H.V., Mandache C., “Pulsed eddy current measurement of lift-off”, Review of Progress in QNDE 25, op. cit. (2006), pp. 669–676.

М.О. Шарикова, асп.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., в.н.с. (НТЦ УП РАН)

ТЕХНОЛОГИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСАХ И ДЕТАЛЯХ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Безопасность железнодорожного транспорта во многом зависит от своевременной диагностики состояния железнодорожной инфраструктуры. Актуальным методом контроля состояния металлических конструкций является метод акустической эмиссии [1]. Данный метод очень информативен, но интерпретация результатов измерений часто вызывает затруднения, особенно при изучении сложных элементов конструкции. Предлагается использовать метод цифровой корреляции изображений [2] для оптической визуализации дефектов в железнодорожных рельсах и осях колесных пар. Он позволит улучшить интерпретацию результатов, получаемых методом акустической эмиссии.

Экспериментальные исследования проводились с помощью измерительной системы LaVision StrainMaster. На рисунках 1 и 2 продемонстрированы испытательные установки с разными образцами.

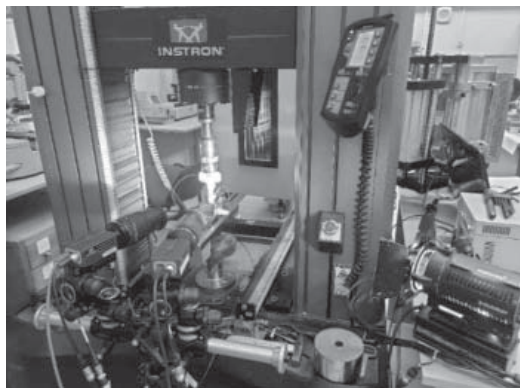


Рис. 1. Фотография экспериментальной установки при испытании железнодорожного рельса

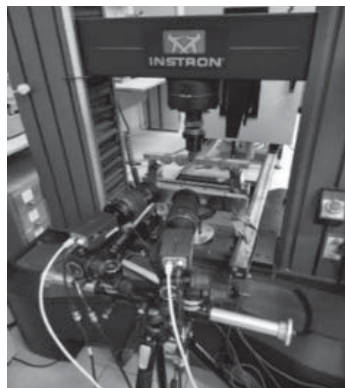


Рис. 2. Фотография экспериментальной установки при испытании оси колесной пары

Данная работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-38-51019).

Литература

1. **Elizarov S.V., Barat V.A., etc.** Acoustic emission monitoring of industrial facilities under static and cyclic loading // Appl. Sci. 2018. 8(8). 1228.
2. **Sutton M.A., Ortu J.J. and Schreier H.W.** Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Basic Concepts, Theory and Applications 2009 (New York: Springer Science + Business Media).

*С.А. Данильченко, М.С. Доброклонская, С.С. Пичугин, студенты,
В.П. Лунин, соиск.; рук. Е.Г. Щукис, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ВНУТРЕННИМ ПРОХОДНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Работоспособность парогенераторов является одной из самых важных элементов безопасной эксплуатации энергоблока атомных электрических станций с водо-водяным энергетическим реактором. Одним из методов оценки состояния теплообменных труб парогенераторов является вихретоковый контроль, который позволяет оценить глубину и опасность дефектов.

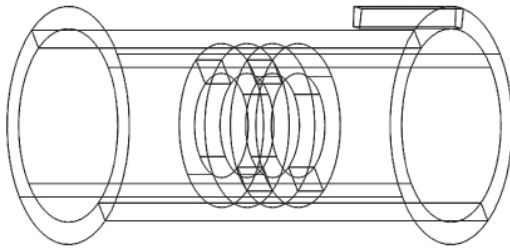


Рис. 1. Модель теплообменной трубки парогенератора с дефектом

Для более точной оценки глубины и опасности дефектов были построены модели теплообменных труб парогенератора с дефектом в программной среде COMSOL (рис. 1). Плюсы построения сигналов в программе состоят в том, что это позволяет смоделировать дефекты любой формы и глубины в большом количестве. Сигналы, полученные при моде-

лировании далее, можно использовать для построения более точных калибровочных характеристик, а также для их дальнейшего анализа [1].

В результате данной работы были получены сигналы для моделей с дефектами различной глубины и формы. Также было проведено сравнение смоделированных сигналов с экспериментальными данными, полученными при вихретоковом контроле калибровочной трубки, что позволило доказать пригодность моделей для дальнейшего использования.

Литература

1. Жданов А.Г., Щукис Е.Г., Лунин В.П., Столяров А.А. Алгоритмы предварительной обработки вихретоковых сигналов при контроле теплообменных труб парогенераторов АЭС // Дефектоскопия. № 4, 2018 г., Стр. 54–64.

И.П. Грачев, А.А. Зайцев, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ В СХЕМЕ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

Для диагностирования состояния металла ответственного оборудования широко применяется вихретоковый метод неразрушающего контроля, основанный на взаимодействии вихревых токов с материалом контролируемого изделия. На практике часто размеры дефекта малы, поэтому измеряемое приращение наволнового напряжения в выходной обмотке преобразователя, вызванное наличием такого дефекта, не велико. Если использовать стандартную схему расчета сигнала методом конечных элементов, то вычислительные затраты на решение такой задачи будут очень велики. Предлагается использовать двухшаговый алгоритм, который приводит к снижению этих затрат [1]. Суть алгоритма состоит в том, что источник поля влияния дефекта определяется из распределения вихревых токов в металле при отсутствии дефекта. Это дает возможность использовать значительные упрощения при расчете “невозмущенного” поля (на первом шаге), учитывая геометрическую симметрию решаемой задачи и, тем самым, снижение ее размерности.

На втором шаге алгоритма дефект заменяется эквивалентной катушкой, являющейся источником поля влияния дефекта. Выходной сигнал преобразователя существенным образом зависит от значения взаимной индуктивности основной (возбуждающей) катушки и катушки, моделирующей дефект.

Целью настоящей работы является расчет взаимной индуктивности катушек в схеме контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС (модель дефекта перемещается относительно катушки возбуждения вдоль оси контролируемой трубы) с помощью традиционного теоретического метода [2] с последующим сопоставлением полученных результатов с расчетами в программе Comsol Multiphysics.

Литература

1. **В.П.Лунин** Двухшаговый алгоритм конечно-элементного решения задач электромагнитного контроля. Вихретоковый контроль // Дефектоскопия. 2006. № 12. с. 15–26.
2. **Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.** Расчет индуктивностей: Справочная книга. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1992. — 487 с.

М.А. Комягин, студ.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПЛАСТИНАХ

Неразрушающий контроль состояния конструкций летательных аппаратов имеет важное значение в авиационной промышленности. Импульсный вихретоковый (ИВТ) метод активно используется для инспектирования многослойных металлических конструкций, в частности, крыла самолета, где дефекты, вызванные усталостью металла, как правило, возникают во внутренних слоях [1]. Такие дефекты практически невозможно обнаружить с помощью традиционных методов контроля, таких как классический вихретоковый или ультразвуковой.

Наличие дефектов в алюминиевых конструкциях ИВТ-методом определяется по характеру изменения сигнала приемной катушки во времени (отклика) от контролируемого изделия в зависимости от поля, созданного импульсом напряжения на входной катушке.

В данной работе был проведен ряд численных (модельных) исследований с целью подтверждения эффективности моделирования методом конечных элементов потенциальных вариантов реализации контроля алюминиевых конструкций. Для моделирования исследуемого процесса при воздействии ИВТ-метода использовалось программное обеспечение COMSOL Multiphysics [2]. Это позволило учесть различные факторы, влияющие на результат в ходе выполнения контроля: число витков возбуждающей катушки (от 400 до 1600), длина и магнитная проницаемость используемого ферритового сердечника, расстояние преобразователя от поверхности (зазор), толщина контролируемой многослойной алюминиевой конструкции (0,4–4 мм). Кроме того, на конечно-элементной модели удалось получить подтверждение экспериментально полученным зависимостям сигнала при использовании ИВТ-метода на реальных алюминиевых конструкциях с дефектами.

Таким образом, конечно-элементное моделирование может успешно применяться как для проектирования преобразователей, так и для разработки новых методик контроля ИВТ-методом.

Литература

1. **Y.A. Plotnikov, S.C. Nath and C.W. Rose**, “Defect Characterization in Multilayered Conductive Components with Pulsed Eddy Current”, in Review of Progress in QNDE, 21, op. cit., 2002, pp. 1976–1983.

А.Ю. Белых, студ.; рук. А.С. Мачихин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ В ЗАДАЧАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

На сегодняшний день оптические спектральные методы получили широкое распространение в научных исследованиях и неразрушающем контроле во многих областях промышленности. Для получения спектров используются спектрометры, их работа основана на дисперсии света, а детектировании полученного спектра происходит с помощью ПЗС матрицы [1].

Методы спектроскопии основаны на регистрации и анализе спектра электромагнитного излучения при его взаимодействии с исследуемым веществом [2]. По характеру этого взаимодействия они классифицируются на эмиссионный, трансмиссионный, абсорбционный, отраженного и рассеянного излучения [3].

Для проведения анализа данных методов исследовались физические принципы спектроскопии и схемы их реализации. Для каждого метода существует собственная схема получения необходимого спектра, обусловленная особенностями физических процессов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Различия в конфигурациях схем и основных принципов методов влияют на технические характеристики метода, их точность и диапазоны измеряемых величин.

Были изучены физические основы получения спектров данными методами оптической спектроскопии, проведены эксперименты с целью выявления особенностей методов и их сравнения.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ основных методов оптической спектроскопии по основным техническим параметрам, особенностям практической реализации и достижимым метрологическим характеристикам.

Литература

1. **Марченко З., Бальцежак М.** Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 711 с.
2. **Ю. Бёккер** Спектроскопия // М.: Техносфера, 2009. 528 с.
3. **ГОСТ Р 58399-2019.** Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования.

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

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

Для автоматизированных систем все более актуальными в настоящее время становятся киберугрозы и кибератаки. Эти угрозы негативно влияют на непрерывность функционирования самой системы. Возникает потребность в создании доверенной среды безопасности, для которой будут рассмотрены возможные угрозы и предотвращена их реализация. Существующие стандарты позволяют создать такую среду на этапе проектирования автоматизированной системы. Профиль защиты и задание по безопасности — это подтверждение доверия к уровню защиты исполняемой системы.

Автоматизированная система в защищенном исполнении имеет замкнутую среду, в состав которой входят рабочие места пользователей, серверные приборы, приборы маршрутизации с функцией межсетевое экранирования, периферийные приборы. Доверенный вход пользователей в систему осуществляется через идентификацию и аутентификацию в автоматизированной системе, применяемой периферийные аппаратные средства, которые обеспечивают индикацию, регистрацию и контроль несанкционированного доступа.

При выполнении этих задач возникает задача оценки уровня доверия к этой системе. Отсюда 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]. К ним относится доверенная загрузка, позволяющая осуществлять вход пользователя в несколько этапов, посредством механического ключа доступа и непосредственного входа в систему под учетными данными. Используется отечественное программное обеспечение, работающее строго по прописанным функциональным требованиям. Разрешается использование только легальных устройств авторизованным пользователям.

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.

М.А. Пасова, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЛАНИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вопросы непрерывности бизнеса не рассматриваются в существующих нормативно-правовых документах ФСТЭК. Однако они приводятся в Федеральном Законе № 187 «О безопасности критической информационной инфраструктуре Российской Федерации», где ключевой задачей непрерывности является поддержание бесперебойного функционирования информационных систем [1]. При этом в нормативных документах, определяющих требования к защищенности этих систем, непрерывность не выделяется как отдельный показатель работы критических информационных инфраструктур. Отсюда возникает проблема научно-методического обеспечения непрерывности.

Непрерывность бизнеса представляет собой стратегическую и тактическую способность организации планировать свою работу в случае инцидента и нарушения ее деятельности, направленная на обеспечение непрерывности деловых операций на установленном приемлемом уровне [2]. Основная задача планирования бесперебойной работы процессов организации заключается в учете основных параметров непрерывности, оказывающих влияние на СМИБ, таких как время останова, время восстановления, объем затрат, необходимость ресурсов и т.д. Отсюда целью работы является создание методики планирования действий в условиях бесперебойного функционирования бизнес-процессов организации на основе параметров непрерывности, управления и оценки рисков и угроз информационной безопасности.

Таким образом в ходе исследования необходимо будет разработать внутренние документы по планированию и управлению бесперебойной работой процессов организации в системе менеджмента информационной безопасности на базе нормативно-правовых актов по обеспечению непрерывности бизнес-процессов, а также анализа вероятных рисков и угроз, возникающих в условиях непрерывного функционирования организации.

Планируемым результатом исследования является разработанное предложение по созданию комплекса мер по обеспечению непрерывности бизнес-процессов в организации.

Литература

1. **Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187** «О безопасности критической информационной инфраструктуры».
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 22301-2014.** Системы менеджмента непрерывности бизнеса. Общие требования // М.: Издательство стандартов. — 2014.

*И.В. Кульков, студент;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ДЕЛОВЫХ ИГР ПО АКТУАЛЬНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ОТКРЫТЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В современной системе профессионального образования была и остается актуальной проблема формирования профессиональных компетенций в сфере информационной безопасности. Одним из подходов решения данной проблемы является использование в процессе развития навыков одного из активных методов обучения специалистов — проведение деловых игр.

Деловые игры рассматриваются как механизм эффективного получения знаний и навыков, поскольку сочетают в себе как теоретические аспекты обучения (абстрактные модели), так и решение практических ситуаций. С помощью деловых игр специалист по информационной безопасности получает возможность представить свою будущую профессиональную деятельность, познакомиться с «боевыми» задачами, показать свои навыки и знания, а в случае их недостатка — получить максимум полезной информации за ограниченный временной интервал.

Деловые игры позволяют формировать стратегии решения бизнес-кейсов, основываясь на исходных данных, ограничениях и исключениях.

Целью написания работы является разработка на основе известных методик проведения деловых игр варианта проведения деловой игры по информационной безопасности для улучшения качества подготовки кадрового состава специалистов по информационной безопасности, которая позволит формировать компетенции в рамках систем управления, анализа и разработки предложений в области информационной безопасности.

В процессе разработки концепции деловой игры проведена оценка актуальности направлений защиты информации в открытых информационных системах, сформированы основные знания и навыки, которыми должен обладать специалист по информационной безопасности, на их основе разработаны вариативные сценарии проведения деловых игр в формате электронного обучения.

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. **Agrianidis Anastasios.** Information Security Training and Serious Games // dis. Agrianidis Anastasios. 2021. — 72 p. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1566928/FULLTEXT01.pdf> (date of application: 08.10.2021)

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

Современный ландшафт киберугроз отличается сложностью атакующих технологий и многообразием инструментов, которые используют злоумышленники, от фишинга по электронной почте до применения легитимных утилит. Помимо этого, происходят изменения в подходах ведения бизнеса, например, возникшая после пандемии уже повсеместная практика удаленной работы. Сеть организаций растет из-за использования дополнительных устройств, таких как IoT-устройства, а часть инфраструктуры располагается в облаке.

Данные изменения требуют значительных доработок и в области безопасности информационной системы. Средства безопасности нынешнего поколения, несмотря на разнообразие, не справляются со сложными, быстро меняющимися угрозами, аналитики SOC перегружены огромным количеством алертов, также наблюдается нехватка специалистов информационной безопасности.

Тенденция №1 в области ИБ по мнению Gartner — применение решений XDR для повышения точности и продуктивности работы систем защиты [1]. Расширенная система обнаружения и устранения угроз (XDR) обеспечивает мониторинг данных на уровне сети, облака, конечных устройств и приложений, а также функции аналитики и автоматизации для обнаружения, анализа, активного поиска и устранения сегодняшних и будущих угроз [2].

Однако на данный момент существуют некоторые сложности во внедрении и применении данных решений. Целью работы является оценка эффективности применения XDR в крупных корпоративных системах для предупреждения инцидентов по сравнению с применением проактивной защиты, направленной на обнаружение.

Планируемым результатом выполнения работы является реализация системы на основе XDR, направленной на автоматизированное предупреждение сложных продвинутых угроз.

Литература

1. Gartner Top 9 Security and Risk Trends for 2020 [Электронный документ], (<https://www.gartner.ca/en/articles/gartner-top-9-security-and-risk-trends-for-2020>, дата обращения: 29.09.2021)
2. Cisco. Расширенная система обнаружения и устранения угроз. [Электронный документ], (https://www.cisco.com/c/ru_ru/products/security/what-is-xdr.html, дата обращения: 29.09.2021)

Д.А. Евдокимова, студ.; рук. О.Р. Баронов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Бурное развитие информационно-коммуникационных технологий и внедрение их в сферу топливно-энергетического комплекса (ТЭК) привело к автоматизации многих процессов, и как следствие, к возможным кибератакам. ТЭК напрямую связан с обеспечением функционирования социально значимых, промышленных и иных объектов, что влечет за собой требования по его защите от выведения из строя его объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации [1]. Существующее состояние технических решений не позволяет совместно эффективно использовать системы функциональной и информационной безопасности для защиты от современных киберугроз.

Однако при этом возникает задача объединения этих систем с целью решения задач безопасности с учетом технологий управления безопасностью объектов критической информационной инфраструктуры. Отсюда целью работы является исследование возможности соблюдения обеспечения безопасности объектов критической информационной инфраструктуры и функциональных требований по обеспечению функционирования электрической подстанции.

Исследованию подлежат механизмы управления технологическими процессами электрической подстанции и обеспечения информационной безопасности согласно требованиям нормативных документов по обеспечению безопасности КИИ.

Планируемым результатом исследования является разработка профиля защиты электрической подстанции и методических рекомендаций по созданию системы безопасности объектов критической информационной инфраструктуры, не нарушающей технологию управления электрической подстанцией.

Они будут включать в себя требования по обеспечению непрерывной работы электрической подстанции, как объекта топливно-энергетического комплекса, и необходимые меры для защиты объектов критической информационной инфраструктуры.

Литература

1. **Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».**

Е.Ю. Марковина, студ.; рук. к.т.н. О.Р. Баронов (НИУ «МЭИ»)

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ФСТЭК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АКТУАЛЬНЫХ УГРОЗ

Обеспечение информационной безопасности на сегодняшний день выступает в качестве одного из самых главных требований к информационным системам. 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. Для выполнения требований к защите информации необходимо определение угроз безопасности информации. Для этого разработан документ «Методика оценки угроз безопасности информации». Необходимо подчеркнуть, что данная Методика не применяется для СКЗИ, ТКУИ и техногенных угроз, а включает только антропогенные, умышленные угрозы.

Помимо требований законодательства, у оценки угроз есть практический смысл, целью любых усилий по обеспечению безопасности, в том числе и моделирование угроз, является повышение уровня безопасности организации. Если организация грамотно пойдет к оценке угроз, это позволит снизить риски, которые могут возникнуть, если, например, нарушители проникнут в систему и нанесут ей вред.

Цель работы разработать практические рекомендации применения методики оценки угроз безопасности для различных условий ее применения (для ИСПДн, защиты информации ограниченного распространения, значимых объектов критической информационной инфраструктуры) и далее применить их на конкретном объекте.

Таким образом, задачи исследования заключаются в анализе существующих процессов путем декомпозиции системы рекомендаций, выделении основных этапов для различных структур, написании рекомендаций и определении сценариев для всех способов осуществления угроз, относительно объектов и видов воздействия. Кроме того, в работе будет представлена классификация антропогенных угроз умышленного характера.

Работоспособность методики будет проиллюстрирована и применена к конкретной организации. По итогу будет создан единый методологический подход к документам, которые используются в ходе решения поставленной задачи.

Литература

1. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации // Утвержден ФСТЭК России 5 февраля 2021 г.

А.К. Братищев, студ.; рук. А.С. Минзов, профессор

ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ШТАТНОЙ СТРУКТУРЫ И МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕНТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Информационные системы сегодня находятся под постоянной угрозой, поэтому им необходимы предупреждающие действия, непрерывный мониторинг и восстановление. Актуальной темой стало построение центров реагирования на инциденты информационной безопасности — Security Operation Center, или SOC. Функции и задачи, выполняемые командой SOC, могут достигать нескольких десятков, в том числе мониторинг, анализ угроз, анализ вредоносного ПО, выявление уязвимостей, повышение осведомленности, реагирование на инциденты и другие [1]. Такие центры дают надежную комплексную защиту всей организации.

Существует проблема обоснования необходимости создания SOC в организации и оценки его экономической эффективности.

Цель работы — создание модели SOC, включающую в себя структуру, персонал, выполняемые функции и техническое обеспечение, и ее обоснование.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

- определить состав решаемых задач, последовательность и трудоемкость;
- разработать организационно-штатную модель SOC на основании целей, задач, функций сотрудников;
- определить состав программного обеспечения, технических средств;
- 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. MITRE, Carson Zimmerman. Ten Strategies of a World-Class Cybersecurity Operations Center. — 2014.

М.Д. Рознюк, студ.; рук. С.В. Попов, доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕНТЕСТА НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ 18045 И ЛУЧШИХ ПРАКТИК

В эпоху стремительно развивающихся технологий кибератаки являются одним из самых распространенных видов атак на информацию и информационные системы. Поэтому любая компания, хранящая и обрабатывающая данные ограниченного доступа, должна быстро и точно обнаруживать уязвимости в своих системах и уметь их исправлять. Для этого могут проводиться тестирования на проникновение, основная цель которых подтвердить или опровергнуть риски несанкционированного доступа к защищаемой информации. Тестирование на проникновение позволяет обнаружить наиболее уязвимые места в информационной системе, провести причинно-следственный анализ результативных атак, проверить надежность и уровень доверия существующих механизмов защиты, благодаря чему повысить защищенность информационной системы организации.

Перед проведением тестирования на проникновение возникает проблема выбора методики пентеста. В настоящее время чаще используются международные методики, которые принимались в сфере информационной безопасности, такие как OSSTMM, ISSAF, PTES, NIST SP800-115, ISO/IEC 18045. Так, ISO/IEC 18045 (ГОСТ 18045) содержит общую методологию оценки безопасности информационных технологий и позволяет оценить все возможности по идентификации и использовании слабых мест в системе организации. В стандарте представлен минимально необходимый перечень действий, выполняемых оценщиком при проведении оценки по ИСО\МЭК 15408 с использованием критериев и свидетельств оценки.

Таким образом, целью исследования является разработка комплекса технических и организационных мер для проведения пентеста на основе требований ГОСТ 18045 и лучших практик.

Планируемым результатом исследования является новая методика проведения тестирования на проникновение, которая может быть использована для российских организаций. Данная методика позволит специалистам по информационной безопасности разобраться в механике тестирования на проникновение и оценке уровня доверия, а также выбрать подходящие средства для анализа с учетом специфики информационной инфраструктуры их организации.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий.

А.О. Перепелятникова, студ.;
рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ ОТ КИБЕРУГРОЗ

Цифровая подстанция важное звено технологического управления электроэнергетической системой. В связи с «цифровизацией» энергетики и развитием электроэнергетических систем на основе инновационных средств и технологий современные объекты электроэнергетики, в том числе и цифровые подстанции, необходимо рассматривать как сложные комплексные киберфизические системы. Энергетическая отрасль в этих условиях приобретает весьма высокий уровень значимости работы объектов, от которой зависит благосостояние, безопасность и здоровье граждан.

В связи с этим приоритетной задачей является повышение уровня защищенности и функционирования информационных систем предприятия, а также реализация комплекса мероприятий для обеспечения информационной безопасности энергетической сферы.

Вместе с этим, исходя из общей «непрозрачности» или закрытости механизмов безопасности, включенных и используемых в программных средствах защиты информации возникает задача оценки уровня доверия к этим системам. Отсюда целью работы является разработка методики практического применения оценки защищенности оборудования и инфраструктуры цифровой электрической подстанции от киберугроз в концепции «Общих критериев» защиты критической информационной инфраструктуры РФ. Данный метод позволяет обеспечить условия, в которых процесс оценки защищенности оборудования будет сопровождаться с применением известного подхода «Общих критериев».

Таким образом, в процессе исследования планируется, используя подходы «Общих критериев», разработать задание по безопасности для объекта киберфизических систем (цифровая подстанция) в энергетической отрасли.

Планируемым результатом исследования является создание совокупности новых компонентов безопасности, способных описывать требования безопасности, имеющих названия в терминологии «Общих критериев» [1].

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2013. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий // М.: Издательство стандартов. — 2013.

А.В. Зеленков, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В КОНЦЕПЦИИ ГОСТ Р 57580.1-2017

К настоящему времени в системе нормативного регулирования требований по информационной безопасности в сфере финансово-кредитных организаций сложилась ситуация, когда одновременно должны выполняться требования нескольких концептуально различающихся нормативных документов. Отраслевым стандартом СТО БР ИББС был разработан на основе международного стандарта ISO/IEC 27001, ГОСТ Р 57580.1-2017 объединял концептуальный подход классификации защищенности информационных систем на основе требований ФСТЭК и одновременно использовал идею развития системы информационной безопасности на основе цикла Деминга (PDCA). Последний нормативный документ рассматривал организации, относящиеся к финансово-кредитной сфере как критические информационные инфраструктуры (КИИ), защита которых должна быть обеспечена по другим требованиям. Наличие этих противоречий вызвало необходимость проведения системного анализа требований к защите информации в финансово-кредитной сфере деятельности.

Основными задачами исследования стали:

1. Сравнительный анализ подходов к построению системы защиты информации в данных стандартах.
2. Сравнительный анализ требований ГОСТ Р 57580.1-2017 с требованиями СТО БР ИББС и N 187-ФЗ в области защиты информации.
3. Оценка возможности совмещения требований данных стандартов в рамках одной организации.

В результате проведения исследований требований регуляторов предполагается выработать рекомендации по совершенствованию требований, предложенных в ГОСТ Р 57580.1-2017, с целью повышению совместимости требований данного стандарта с требованиями СТО БР ИББС и N 187-ФЗ.

Литература

1. **ГОСТ Р 57580.1-2017.** Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер.

П.А. Добрецов, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗНАЧИМОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Ранее, при обеспечении безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры (далее — ЗО КИИ), процесс оценки рисков информационной безопасности не проводился. Данный факт можно объяснить тем, что для таких объектов, нарушения которых могут вызвать необратимые социальные, экономические, политические или экологические последствия, не рассматривались варианты защиты информации, которые построены на риск-ориентированном подходе.

Однако, с выходом нового методического документа ФСТЭК России [1] одним из исходных данных для оценки угроз безопасности являются результаты оценки рисков (ущерба), проведенной владельцем информации и (или) оператором.

И, в связи с тем, что разработка модели угроз безопасности информации является обязательным требованием по обеспечению безопасности ЗО КИИ Российской Федерации [2], возникает ситуация, при которой субъекту критической информационной инфраструктуры, для того чтобы разработать актуальную модель угроз, необходимо проводить оценку рисков информационной безопасности для ЗО КИИ.

Целью данной работы является разработка методики оценки рисков информационной безопасности для ЗО КИИ, которая основана на нормативно-правовых актах, в заданной сфере, а также на успешных практиках оценки рисков информационной безопасности в других сферах с учетом специфики обеспечения безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры.

Разработанная методика может использоваться для обеспечения безопасности конкретных ЗО КИИ в зависимости от одной из трех категории значимости. Модель рисков ЗО КИИ может эффективно использоваться как один из инструментов обеспечения непрерывности работы значимых объектов, также как обоснование о целесообразности применения различных средств защиты информации для ЗО КИИ.

Литература

1. **Методический документ утвержденный ФСТЭК России от 5 февраля 2021 г. «Методика оценки угроз безопасности информации».**
2. **Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».**

Е.А. Куриленко, студ.; рук. Н.В. Унижаев, доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ

В условиях ограничительных мероприятий, предусматривающих работу сотрудников удаленно, информационные технологии позволяют сотрудникам организаций исполнять свои обязанности. 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. Поэтому изменение организации работы требует в срочном порядке требует пересмотра целей и задач для снижения рисков информационной безопасности, с которыми приходится сталкиваться на удаленной работе.

В связи с переходом на удаленную работу возникают угрозы, связанные с хранением и управлением данных в облачных хранилищах, а также несанкционированным доступом к информационным системам. Возникает угроза утечки и кражи данных в следствии применения устаревших механизмов защиты. Отсюда целью данной работы является обеспечение информационной безопасности корпоративной информационной системы в условиях удаленной работы сотрудников.

Таким образом, в процессе исследования необходимо разработать нормативный документ, регламентирующий удаленную работу сотрудников организации в зависимости от разграничения по уровню доступа к информационным ресурсам организации и класса выполняемых задач [1]. На основании классификаций информационных ресурсов и выполняемых задач разработать модель угроз. Нормативный документ также должен содержать: установленные минимальные требования по защите удаленного рабочего места сотрудников в соответствии с классификациями, требования к системе контроля удаленного рабочего места, регламент создания защищенного подключения к корпоративным ресурсам организации с помощью реализации управляемого доступа, разграничивая по уровню конфиденциальности обрабатываемой информации, с возможностью двухфакторной аутентификации, включая сопровождающие документы.

Планируемым результатом исследования является создание совокупности требований и рекомендаций безопасности для корпоративной сети в условиях удаленной работы сотрудников организации.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности // М.: Издательство стандартов. — 2013.

Н.Ю. Герасимов, студ.; рук. И.В. Писаренко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛИГИИ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИФРОД-СИСТЕМ В ФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Интенсивное развитие информационных технологий привело к созданию новых передовых методов противодействию мошенничеству в информационном пространстве. Все чаще организации финансового сектора используют так называемые «антифрод-системы», дабы обеспечить должный уровень защищенности от нелегитимных транзакций. Система «антифрод» (от англ. anti-fraud — «против мошенничества») представляет собой программный комплекс для анализа, обнаружения и предотвращения мошеннических операций. В основе комплекса применяются правила и фильтры, а также технологии машинного обучения, позволяющие ограничить возможность для мошенничества.

Антифрод-системы довольно успешно зарекомендовали себя в финансовых организациях и продолжают развиваться, используя новые технологии борьбы с мошенничеством. Отсюда целью работы является определение тенденций развития антифрод-систем в финансовых организациях и разработка рекомендаций по выявлению мошеннических схем в финансово-кредитных учреждениях.

В работе возникает задача анализа существующих методов и технологий антифрод-систем в финансовых организациях. На основе анализа будет спрогнозировано дальнейшее развитие данных систем в финансовом секторе.

Также важной частью в процессе исследования является моделирование рисков информационной безопасности, при проведении транзакций в антифрод-системах. Планируемым результатом будет оценка рисков информационной безопасности на каждом этапе транзакции в системе.

Завершающим этапом исследования планируется разработка рекомендаций по совершенствованию антифрод-систем в финансовых организациях, на основе анализа и оценке рисков информационной безопасности, будут представлены способы более эффективной работы по выявлению нелегитимных транзакций программного комплекса по противодействию мошенничеству.

Литература

1. **ГОСТ Р 57580.1-2017.** Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер // М.: Издательство стандартов. — 2018.
2. **А.К. Алексанов, И.А. Демчев, А.М. Доронин и др.** Безопасность карточного бизнеса: бизнес-энциклопедия // МФПФ. 2012. Т. 2000.
3. **Казимагомедов А.А.** Банковские риски: учебное пособие // КноРус. 2020.

И.А. Ермаков, студ.; рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В настоящее время защита персональных данных (ПДн) осуществляется на основе уровней их защищённости. Требования по защите ПДн определяются нормативными документами [1, 2]. Для более качественной оценки защищённости ПДн можно использовать риск-ориентированный подход, но такой подход ранее не использовался по причине невозможности применения понятия риска относительно ПДн.

Однако, с недавнего времени начала действовать новая методика [3], которая позволяет определить и использовать понятие риска для оценки актуальных угроз. При этом риск рассматривается только как значение возможного ущерба, что снижает возможности применения этой методики. Отсюда возникает необходимость создания цифровой модели защиты ПДн, в соответствии с которой можно оценить стоимость ущерба от потери ПДн, определить необходимые меры и средства по управлению рисками и оценить затраты на их применение для защиты ПДн.

Целью работы является уточнение методики оценки рисков с учетом более широкого круга решаемых задач в новых методических рекомендациях, предложенных ФСТЭК.

Для достижения цели будут решены следующие задачи:

1. Определение возможности применения более расширенного понятия «риск» при разработке модели актуальных угроз.
2. Построение модели перехода от уровней защищённости информационной системы (ИС) к рискам.
3. Построение цифровой модели системы защиты ПДн.

Планируемым результатом исследования является создание цифровой модели безопасности ПДн, соответствующей определенному уровню защищённости ИС. На основе этой модели можно будет оценить возможный ущерб от возникновения рисков при обработке ПДн, а также определить необходимые защитные меры и их стоимость.

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 информационных системах персональных данных».
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. **Методический документ ФСТЭК России от 5.02.2021.** «Методика оценки угроз безопасности информации».

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)

В современном мире защита ценных информационных активов играет важную роль для успешного функционирования бизнеса. Поэтому каждой организации необходимо иметь собственную надежную систему обеспечения безопасности информации. Однако какой бы качественной она ни была, всегда возможно упущение каких-либо уязвимостей или появление новых. Таким образом, ни одна система обеспечения безопасности не способна снизить риск возникновения инцидентов до нуля. Соответственно, организации должны быть готовы к возникновению таких ситуаций и уметь правильно и своевременно на них реагировать.

Для успешного реагирования и сбора информации в расследовании инцидентов необходимо наличие комплексной системы реагирования на инциденты. Такой системой является центр управления информационной безопасностью (SOC — Security Operation Center). SOC — это структурное подразделение, осуществляющее круглосуточный мониторинг работы систем защиты информации и реагирующее на инциденты информационной безопасности. Данный центр играет ключевую роль в реагировании на инциденты, так как он объединяет все имеющиеся на предприятии средства защиты в одну систему, которая при правильном управлении значительно повысит уровень реагирования на инциденты и защищенность компании в целом. Отсюда целью работы является построение комплексной системы реагирования на компьютерные инциденты с использованием центра управления информационной безопасностью.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет разработать комплексное решение для реагирования на инциденты, исследовать специфику построения центров управления информационной безопасностью, разработать алгоритмы расследования инцидентов с применением центра управления информационной безопасностью.

Планируемым результатом исследования является создание комплексной системы реагирования SOC, в которой будет четкое разграничение зон ответственности каждого звена системы.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18044-2007. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности // М.: Издательство стандартов. — 2007.

С.В. Морозов, студ.; рук. С.В. Попов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ С ВИРУСАМИ ШИФРОВАЛЬЩИКАМИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Современный ландшафт киберугроз из года в год становится агрессивнее и агрессивнее. Злоумышленники используют сложные техники проникновения и закрепления в корпоративных системах. В настоящее время злоумышленники переклонились с атак на банковские системы, на хищение и шифрование информации у крупных компаний и вымогательство денежных средств под угрозой потери данных. Опытные злоумышленники оказывают услуги по управлению вирусами для менее опытных злоумышленников, что снизило порог входа в данную криминальную сферу. Ущерб от программ-вымогателей составил как минимум один миллиард долларов по информации из отчета, который представила Group-IB на конференции Hi-Tech Crime Trends 2020 [1].

Данные сведения говорят о том, что превентивные меры защиты недостаточно эффективны против вирусов шифровальщиков, а скорость детектирования активности и последующего реагирования не способны предотвратить ущерб от атак.

Проблема выявления инцидентов с шифровальщиками отчасти обусловлена недостаточным пониманием сценариев работы семейства вирусов шифровальщиков. Проактивная защита с использованием SIEM систем способна детектировать активность шагов, которые выполнялись до шифрования, но время реакции от начала анализа активности до непосредственного шифрования файлов может быть слишком долгим для противодействия. Время расследования инцидентов с вирусами шифровальщиками — критически важный параметр, от которого зависит объем информации, который потенциально подвергнется шифрованию [2].

Ключевыми компонентами в борьбе с шифровальщиками — методики детектирования и реагирования на инциденты шифрования. Для этого необходимо изучить жизненный цикл данного вредоносного ПО и выработать методики по противодействию.

Планируемым результатом является набор методических рекомендаций по выявлению и анализу инцидентов, связанных с шифрованием которые позволят им с большей точностью и в более сжатые сроки выявлять реальные инциденты, которые могут привести к шифрованию критичных файлов в инфраструктуре.

Литература

1. Hi-Tech Crime Trends 2020/2021 [Электронный документ], (<https://www.group-ib.ru/media/gib-report-2020/>, дата обращения: 29.09.2021)
2. Отчет об атаках шифровальщиков FireEye 2020 [Электронный документ], (<https://www.mandiant.com/resources/they-come-in-the-night-ransomware-deployment-trends>, дата обращения 29.10.2021)

*К.О. Полишин, студ.;
рук. А.С. Минзов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ОТ ЦЕЛЕВЫХ ФИШИНГОВЫХ АТАК

Риск успешной реализации целевой фишинговой атаки изначально кроется в неэффективной информационной безопасности компании или неграмотному использованию имеющихся средств защиты информации. Это покрывает подобный риск только на бумаге, вследствие этого ответственность за целостность корпоративного сегмента перекладывается на сотрудников компании с помощью проведения лекций и семинаров по фишингу внутри компании.

Подавляющее большинство (97%) пользователей не могут распознать грамотно подготовленное фишинговое письмо [1], что позволяет злоумышленникам сфокусировать свое внимание на реализации целевой фишинговой атаки, а не выявлению уязвимостей на внешнем периметре. Данный риск должен минимизироваться с помощью экспертизы специалистов информационной безопасности, а противодействие в первую очередь должно начинаться с технических мер и решений. Отсюда целью работы является разработка методики защиты корпоративной сети компании от целевых фишинговых атак.

На данный момент имеющиеся проектная экспертиза и статистика рынка свидетельствует о том, что сотрудников пытаются научить распознавать все тонкости социальной инженерии и целевой фишинговой атаки, что подтверждает необходимость в разработке методики защиты корпоративной сети от целевых фишинговых атак, которая позволит специалистам по информационной безопасности компаний разобраться в механике целевой фишинговой атаки и выбрать необходимое решение по противодействию данному виду атак.

Исследование заключается в создании материалов противодействия целевым фишинговым атакам, включающих в себе разноуровневые меры и решения, с объяснениями природы целевой фишинговой атаки, ее этапов, техник и с демонстрацией успешной целевой фишинговой атаки на корпоративную инфраструктуру с обходом таких средств защиты информации, как Security Gateway, Sandbox, AntiVirus, AntiPhishig и AntiSpam, в рамках лабораторного внутреннего проекта в Positive Technologies.

Литература

1. Статья Security Boulevard. Staggering Phishing Statistics in 2020: [Электронный ресурс], URL: <https://securityboulevard.com/2020/12/staggering-phishing-statistics-in-2020/>

В.Д. Пряхин, студ.; рук. С.С. Рыжиков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЯВЛЕНИЯ КАНАЛА УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПУТЕМ ВЧ ОБЛУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА

Совершенствование чувствительности устройств и методик радиомониторинга привело к гипотезе создания нового технического канала утечки информации основанного на высокочастотного облучения (ВЧО) элементов автоматизированного рабочего места (АРМ). При этом за счет переоблучения схем АРМ происходит улавливание высокочастотным приемником моделируемого сигнала. Такая гипотеза требует экспериментальной проверки и построение обобщенного прототипа математической и физической модели утечки информации путем ВЧО в котором обеспечивается моделирование условий создания канала утечки информации и его частотного диапазона и мощности сигнала. Это и определяет актуальность данной работы.

При обработке конфиденциальной информации в технических средствах возможен ее перехват злоумышленником без прямого доступа к обрабатываемому устройству за счет активных атак, при которых на зависимые от обрабатываемых данных резонаторы целенаправленно воздействуют внешним электромагнитным излучением, так называемый канал ВЧО. Необходимым условием потенциальной реализации подобных атак является наличие в атакуемом устройстве заранее внедренного электронного устройства негласного получения информации.

Целью данной работы является исследование условий, появления канала утечки информации путем ВЧО АРМ, обрабатывающих конфиденциальную информацию. Таким образом, после проведенного исследования и разработок методик, можно будет понять, что данный канал утечки информации нужно использовать более часто чем сейчас. Для выполнения этой цели решаются следующие задачи:

1. Анализ механизмов влияния ВЧО на параметры АРМ и методов обнаружения и идентификации информативных сигналов;
2. Разработка обобщенного прототипа математической и физической модели имитации работы воздействия ВЧО на параметры АРМ;
3. Проведение эксперимента и обработка его результатов. Формирование выводов о возможности реализации канала утечки конфиденциальной информации.

Литература

1. **Kinugawa M., Fujimoto D., & Hayash, Y.** Electromagnetic Information Extortion from Electronic Devices Using Interceptor and Its Countermeasure. IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2019(4), 62–90.

С.В. Бобылева, аспирант (Государственный Университет «Дубна», г. Дубна); А.С. Минзов, д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА»

Основная идея цифровой экономики заключается в том, что все проекты, в том числе и в сфере ИБ, должны быть направлены на повышение эффективности деятельности всей организации. Это достигается только путем использования моделей рисков информационной безопасности в следующем виде

$$R = \langle U, P, Z, \rangle \quad (1)$$

где U — предотвращенный ущерб; P — возможность появления рисков; Z — затраты на их предотвращение, снижение, передачу или сохранение [1].

Такой подход позволяет решить задачу построения цифровой модели информационной безопасности организации путем определения максимального значения предотвращенного ущерба при различных стратегиях (s) обработки рисков

$$\max_s \left(\sum_{i=1}^k u_i^s \right), i = \overline{1, k}, s = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Под стратегией обработки рисков понимается способ ранжирования рисков по одному из ключевых параметров ($U, Z, U-Z$ и др.).

Основная цель исследования заключалась в разработке цифровой модели управления рисками информационной безопасности, позволяющей решать задачи проектирования эффективной защиты информации при ограничениях на ее затраты.

Результаты исследования могут быть применимы при оценке эффективности защиты объектов критической информационной инфраструктуры при реализации киберугроз.

Верификация полученных результатов проводилась на имитационной модели организации, включающей модель её информационной системы, моделей активов, угроз, уязвимостей и различных ограничений. При оценке ущербов использовались рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005. Дальнейшее развитие системы продолжится по пути применения теории нечетких множеств при оценке ущербов информационных активов и моделирования погрешностей этих оценок.

Литература

1. Моделирование рисков информационной безопасности в цифровой экономике: монография / А.С. Минзов, Е.Н. Черемисина, Н.А. Токарева, С.В. Бобылева; под ред. А.С. Минзова. — М.: КУРС, 2021. — 112 с.

Д.А. Гребенник, студ.; рук. А.В. Дратвяк, стар. пр. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ ПРОТОКОЛОВ ЗАЩИТЫ TLS

Интенсивное развитие информационных технологий привело к созданию новых передовых методов защиты передаваемой информации в сетях модели OSI. Протокол безопасности транспортного уровня (TLS) широко используется для создания безопасных каналов в Интернете. Каждая новая версия добавляет новые функции, отменяет устаревшие конструкции и вводит меры по устранению недостатков, обнаруженных в предыдущих версиях. Работа протокола может быть дополнительно настроена с помощью расширений, некоторые из которых являются обязательными для предотвращения известных атак на протокол.

На сегодняшний день различные протоколы прикладного уровня используют TLS в качестве шифровальщика передаваемых данных (HTTP, SMTP, POP3, IMAP, FTP, SIP). В связи с этим можно говорить о том, что существуют риски и угрозы работы данного протокола, а значит и безопасности данных. Известно как минимум 4 вида атак, от которых возможно нарушение безопасности TLS — атака с понижением версии протокола, атаки с использованием искажений в ключах RC4, атаки на повторное согласование и атаки, которые основываются на различных ошибках безопасности памяти, к примеру Heartbleed или FREAK.

Таким образом, в процессе исследования необходимо будет смоделировать различные уязвимости данной технологии при ее эксплуатации. Целью работы будет обеспечение безопасности выполнения TLS-сеанса. В частности, будут рассмотрены модели атаки и методы защиты от них на ОС Windows и Linux. Где в роли атакующего будет операционная система host-платформы [1].

Также планируется сформировать модель угроз протокола TLS на основе модели угроз SSL, представленном на ресурсе SSL Labs, в том числе используя известные уязвимости и угрозы, представленных в различных банках данных угроз.

Планируемым результатом исследования является подготовка различных решений по достижению требований безопасности, согласно стандарту RFC8446 [2]. В данной работе будут описываться варианты различных атак, последствий данных атак и пути решения в рамках защиты протокола TLS.

Литература

1. <https://github.com/ssllabs/research/wiki/SSL-and-TLS-Deployment-Best-Practices> Рекомендации по развертыванию.
2. <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc8446/> Спецификации версии 1.3 протокола TLS.

С.Ю. Рыжов, студ.; рук. А.О. Горбенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛОГИСТИКА ОРГАНИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Система менеджмента информационной безопасности (СМИБ) — важная часть общей системы, оценивающая бизнес-риски и занимающаяся управлением информационной безопасностью (ИБ) в организации [1]. Логистика организации документооборота — это система документов, разрабатываемых в определенной последовательности и во взаимосвязи на этапах планирования, внедрения, мониторинга и разработке предложений по совершенствованию СМИБ. Она предусматривает систему контроля выполнения требований СМИБ и соответствующей ответственности за это должностных лиц.

Отсюда вытекает важность логистики организации документооборота СМИБ, заключающаяся в обеспечении надежного управления процессом документооборота СМИБ на всех стадиях цикла Деминга. Количество документов определяется их необходимостью. Недостаток приводит к уязвимостям, а при развитии СМИБ, появляются новые версии, управлять ими становится труднее. В процессе работы необходимо описать базовый комплект документов по ИБ на предприятии, а также сформировать их перечень, разделив политики ИБ на общие политики для всех и на частные для определенных исполнителей. Затем создать систему шаблонов документов. Современный документ должен быть конкретным, логичным и рабочим на всех этапах жизненного цикла.

Целью работы является создание системы шаблонов-образцов документов в области ИБ, необходимых для функционирования СМИБ в компании, а также организация документооборота в области ИБ.

Задачами данной работы являются:

1. Определение систематизированного перечня видов документов (номенклатуры) и требований для них, обязательных для использования в организации при функционировании СМИБ.
2. Создание интеллектуальных карт для системы документооборота СМИБ и контроля его выполнения.

Результатом написания данной работы должна стать серия готовых шаблонов-образцов документов СМИБ согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006, пригодных для использования в организации средних размеров.

Литература

1. **СМИБ ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 (проекты документов)** [Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Р., Сюбаев Р.А.]; Министерство образования и науки Российской Федерации, НИУ «МЭИ», ИнЭИ, Кафедра БИТ.

П.М. Крутова, студ.; рук. А.Ю. Невский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В настоящее время обеспечение безопасности информационных (цифровых) активов в любой организации воспринимается в качестве неотъемлемой части надежного функционирования ее информационной системы. Но в ряде источников идут обсуждения того, что возможности и эффективность использования традиционных программных средств защиты информации, типа антивирусов и межсетевых экранов близки к исчерпанию.

Будущее за использованием средств программно-аппаратной защиты информации, связанных с более продвинутой аналитикой и активным участием операторов в процессах не только с эксплуатации средств защиты, но и обработки получаемых результатов. Но полные версии подобных продуктов практически недоступны для организаций с малыми бюджетами ни по затратам на приобретение, ни по организации полноценной эксплуатации.

Выходом из сложившейся ситуации может быть применение метода компьютерного моделирования, позволяющий реализовать объект защиты (систему) в форме их алгоритмического описания с присущими ей свойствами и в динамике изменения их во времени. Таким образом, целью работы является разработка методики применения средств компьютерного моделирования при оценке защищенности информационных систем.

Достигнутым результатом исследования является разработка сканера безопасности на основе open source — решения, выполняющий расширенный перечень задач.

Планируемыми результатами исследования являются:

- разработка методики применения разработанного сканера безопасности при оценке защищенности информационных систем;
- разработка методики оценки защищенности на основе сканера безопасности, включающая его структуру и описание основных механизмов проведения сканирования информационных систем, а также настройку дополнительных возможностей.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2013.** Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий //М.: Издательство стандартов. — 2013.
2. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2008.** «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий».

Д.Р. Соловьев, студ.; рук. Д.А. Козлюк, ассистент (НИУ «МЭИ»)

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ DDOS-АТАК ПРИ ПОМОЩИ АНАЛИЗА ЖУРНАЛОВ WEB-СЕРВЕРА

Доступность информационных систем через интернет критически важна в современной жизни. Из атак на доступность распространены DDoS-атаки, заключающиеся в том, что большое количество клиентов перегружает сервер формально легитимными запросами. Одним из актуальных типов DDoS-атак является HTTP flood [1]. В этих атаках трафик шифруется, поэтому его не может остановить сетевой фильтр, расположенный перед защищаемой системой, так как он обрабатывает только открытую часть, например, адреса клиентов. Данные будут расшифрованы только на сервере, но обработка запросов атакующих перегружает его.

Для борьбы с этим мы предлагаем использовать всю информацию, которая доступна серверу-жертве, и по ней находить адреса, которые нужно заблокировать на сетевом фильтре. Так как запросы DDoS-атак корректны с точки зрения протокола и не обязательно имеют характерные последовательности, по которым их можно отличить (сигнатуры), то их можно обнаружить только используя всю совокупность признаков запроса, число которых составляет десятки-сотни. Для этого можно использовать нейросети, так как они хорошо подходят для выбора с большим количеством признаков. Источником данных может выступить журнал запросов web-сервера (access.log). Обученная модель уникальна для каждого сервера, так как типовые запросы различны. Особенностью работы предлагаемой системы будет являться то, что для разметки исходных данных планируется применять решения о том, является ли клиент атакующим, принятое сетевым фильтром без анализа запросов. Таким образом, сначала сетевой фильтр блокирует нарушителей, пользуясь незашифрованным минимумом информации, потом из журнала web-сервера формируется выборка и размечается на основе решений сетевого фильтра, по ней выполняется обучение. Настраиваемый классификатор позволяет обнаруживать атаки даже при низкой интенсивности запросов отдельно взятого клиента.

Прототип реализуется с учетом возможностей конкретного решения для защиты от DDoS-атаки «BIFIT Mitigator». Эксперименты планируются проводить на образцах реальных DDoS-атак, которые предоставит производитель решения.

Литература

1. Quarterly DDoS and Application Attack Report (Q3, 2021). — Radware Ltd. — URL: <https://www.radware.com/2021q3-ddos-report/>

Секция 20
ПРИКЛАДНАЯ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА
Applied and business Informatics

Председатель секции: к.т.н., доцент Крепков Игорь Михайлович

Секретарь секции: Еремеева Валерия Игоревна

С.Д. Савельев, студ.; рук. О.В. Жнякин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Получение высшего образования традиционно завершается государственной итоговой аттестацией (ГИА), которая необходима для определения того, насколько соответствуют результаты освоения обучающимися основных образовательных программ соответствующим требованиям, прописанным в федеральном государственном образовательном стандарте.

Таким образом, подготовка выпускной квалификационной работы (ВКР) является своеобразной заявкой студента на вступление в профессиональное сообщество, а защита работы, в свою очередь, актом приема в профессиональную среду.

ФЗ РФ «Об образовании в Российской Федерации» допускает использование электронного обучения в образовательном процессе, в том числе и при проведении ГИА: «При реализации образовательных программ используются различные образовательные технологии, в том числе дистанционные образовательные технологии, электронное обучение» (П.2. ст.13) [1]. В условиях пандемии COVID-19 роль дистанционных образовательных технологий значительно усилилась.

Работа над ВКР представляет собой длительный и трудоемкий процесс, в котором принимают участие не только преподаватели и студенты, но и сотрудники кафедры и института, и предусматривает большой объем организаторской работы.

Для обеспечения взаимодействия в «дистанционном режиме» всех участников процесса была разработана информационная система ВКР (ИСВКР). Данная ИС предназначена для оптимизации процесса учета и мониторинга хода выполнения ВКР.

Среди функциональных возможностей ИС можно выделить следующие:

- учет сведений о ВКР, связанных с ними мероприятиях с возможностью оперативного изменения данных;
- планирование контрольных и консультационных мероприятий;
- мониторинг хода выполнения ВКР студентами;
- формирование требуемой документации, связанной с ВКР.

В настоящее время ведется внедрение и анализ эффективности разработанной информационной системы.

Литература

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ

Г.М. Никитина, студ.; рук. В.С. Батасова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

С каждым годом происходит интенсивная компьютеризация образовательного процесса. Из-за этого возникает потребность введения автоматизированной проверки знаний, которая показывает, усвоены ли полученные знания.

Актуальность разработки методики анализа результатов автоматизированной проверки знаний состоит в определении объективности результатов автоматизированной проверки знаний. Данная методика дает ответ на вопрос, существует ли зависимость между оценками, полученными студентами в результате тестирования, и оценками, полученными в ходе проведения традиционного экзамена.

Для анализа результатов автоматизированной проверки знаний не подходят классические методы исследования, так как дискретные переменные, используемые для выставления оценки студентам, искажают результат. Поэтому следует использовать модель множественного выбора с упорядоченными альтернативами. Сначала вводится латентная переменная, которой является оценка переведенная проценты. Далее рассчитываются вероятности получения различных оценок на экзамене через распределение вероятностей латентной переменной и функция максимального правдоподобия, которую необходимо максимизировать для получения оценки связи между оценками, полученными в результате тестирования и оценками, полученными на экзамене.

Обработка полученных результатов может проводиться в любой вычислительной среде, поддерживающей расчет функции максимального правдоподобия (Microsoft Office Excel, Mathcad, Matlab, Spss, Gretl).

Для проведения анализа конкретных данных был выбран табличный процессор Microsoft Office Excel, который является самым доступным и в который встроены инструменты для статистических расчетов.

В результате применения разработанной методики анализа результатов автоматизированной проверки знаний была получена зависимость оценки, полученной на традиционном экзамене, от оценки, полученной в результате автоматизированной проверки знаний. Но в рассматриваемых примерах данных преподаватель выставляет оценки лучше, нежели автоматизированная тестовая система.

Литература

1. **И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Т.В. Костеева, И.В. Пантина, Б.А. Михайлов, Ю.В. Нерадовская, Г.Г. Штрое, К. Бартеле, Л.Р. Рыбкина** Эконометрика. Учебник — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2005. — 576 с.: ил.

*А.В. Рыжов, Е.М. Павлов, студенты;
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОРТАЛОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Одной из важных задач, которая стоит перед высшими учебными заведениями РФ, является выполнение требований Министерства образования по наполнению актуальными сведениями официальный веб-портал [1]. В целях реализации этой задачи государство выделяет средства на разработку систем, которые будут осуществлять мониторинг официальных веб-порталов, собирать различные данные и выявлять несоответствия.

Такие системы мониторинга отслеживают сайт и проводят проверку на соответствие установленных государством методическим рекомендациям [2]. Проверка заключается в поиске определенных страниц, которые должны находиться по заранее заданному пути. На основе собранных данных выводится отчет о том, насколько полно сайт образовательной организации соответствует методическим указаниям.

В докладе рассматриваются подобные системы мониторинга; принципы их работы; данные, которые они обрабатывают и результаты обработки данных. Сервис проверки сайтов образовательных организаций на соответствие законодательным требованиям (rosobrcntrol.ru) собирает данные по заданному сайту, после чего выводит статистику по найденным на страницах тега и их заполненности. Другая система — программно-методический комплекс «Информационный модуль сайта-VIKON» (db-nica.ru) — дополнительно позволяет проверить наличие страниц с заданными путями и рассчитывает индекс сайта.

Проектирование и разработка внутренней системы мониторинга может дать ВУЗу преимущество при решении задачи актуализации данных на официальном веб-портале. Такая система должна обладать возможностями, схожими с внешними сервисами, но быть ориентирована на специфические процессы ВУЗа. Её внедрение может позволить ВУЗу более эффективно выполнять требования Министерства Образования.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2013 г. N 582 «Об утверждении Правил размещения на официальном сайте образовательной организации»
2. Методические рекомендации представления информации об образовательной организации высшего образования с учетом соблюдения требований законодательства в сфере образования, 2021.

*Е.М. Павлов, А.В. Рыжов, студенты;
рук. С.А. Петров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Под надёжностью программного обеспечения (ПО) понимается способность ПО безотказно выполнять определенные функции при заданных условиях в течение заданного периода времени [1].

Для оценки надёжности ПО можно применять математические модели. Оценкой в данном случае будет некоторая зависимость между надёжностью ПО и рядом заранее известных или полученных в результате исследования параметров.

В докладе освещены различные модели оценки надёжности ПО. Среди таких моделей можно выделить следующие:

1. Модель Миллса. При её использовании предполагается, что перед началом тестирования в программу случайным образом вносится некоторое количество известных ошибок. Все ошибки имеют равную вероятность быть найденным в процессе тестирования.
2. Модель Коркорэна. В модели Коркорэна используется только результат N испытаний. Она содержит изменяющуюся вероятность отказов для различных источников ошибок и соответственно разную вероятность их исправления.
3. Модель Шумана. При использовании этой модели предполагается, что тестирование проводится в несколько этапов, каждый из которых представляет собой выполнение программы по набору тестовых данных.
4. Модель Желинского-Моранды. При использовании данной модели предполагается, что при тестировании фиксируется время до очередного отказа [2].

Выбор конкретной модели для оценки надёжности зависит от характеристик тестируемого ПО и условий его разработки. Применение одной или нескольких моделей на практике поможет снизить количество ошибок и позволит получить пользователям более качественный конечный продукт.

Литература

1. Надёжность программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL: http://madiasunik.ucoz.ru/Nadejnost/Material_nadejnost.pdf (дата обращения: 17.11.2021)
2. **Осипович В.С.** Проектирование информационных систем промышленной безопасности. Курсовое проектирование / В.С. Осипович, В.В. Егоров. — Минск, 2020.

*Я.Д. Парошин, студ.; Н.С. Платонов, студ.; М.С. Волков (GS Labs);
рук. Т.А. Маркина, к.т.н. (НИУ ИТМО)*

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В СИСТЕМЕ УМНЫЙ ДОМ

Популярность умных систем повсеместно увеличивается, а с ней вырастает и потребность в разработке отдельных модулей. Систем становится все больше, их функционал — сложнее. На данный момент для тестирования систем умного дома используют аппаратные устройства и имитируют поведение человека. Этот метод очень трудоемок, имеет целый ряд ограничений и становится все менее надежным при расширении функционала систем, количества и видов устройств в них. Данный процесс требует автоматизации.

«Цифровой двойник» (Digital Twin) — цифровая модель физического объекта или процесса в реальном времени, которые используются в процессах оптимизации производства [1].

Цель работы — разработка программного продукта, способного симулировать взаимодействие человека с цифровыми двойниками периферийных аппаратных устройств в системе умного дома и автоматизировать её тестирование.

В результате работы получен прототип приложения с графическим интерфейсом, предназначенного для тестировщиков компании GS Labs (ООО «Цифра»), которое позволяет симулировать работу периферийных устройств системы умного дома DREHOME и их взаимодействие с контроллером системы и человеком по заранее заданному сценарию.

Как следует из исследования А.С. Гончарова и В.М. Саклакова, перспективы применения «Digital Twin» — технологий в компаниях весьма широки. Двойник устройства еще на этапе проектирования может выявить недостатки и помочь устранить их [2]. Данная разработка позволит автоматизировать тестирование системы умного дома, что снизит издержки и устранил влияние человеческого фактора, сделает его более комплексным и надежным.

Литература

1. Industry 4.0 and the digital twin [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smartfactory.html> (24.08.2018).
2. Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Кемерово, 11–13 октября 2018 года. — Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. — 257 с. — ISBN 978-5-00137-009-3.

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

Д.А. Кондрашов, асп.; рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КАСКАДОВ

При проектировании устройств систем генерирования электроэнергии остро стоит вопрос о выборе необходимых методик расчета. Данная проблема затрагивает все сферы промышленности, в том числе и авиационную сферу. Так при создании новейших летательных аппаратов большое внимание уделяется разработкам единой централизованной системы электроснабжения. Из-за увеличения числа бортовых потребителей электроэнергии все большее число систем летательных аппаратов переводится в разряд электрических систем. Таким образом, растет и суммарная мощность всех потребителей. Этот рост приводит к необходимости увеличения мощности устройств, производящих электроэнергию. На борту к таким устройствам относятся электрогенераторы.

Однако постоянное стремление к увеличению мощности агрегатов систем электроснабжения летательных аппаратов ведет к поиску новых методик, применяемых при проектировании генераторов. Поскольку одной из отличительных особенностей авиационных машин является бесконтактность, то при разработках необходимо учитывать гальваническую связь трехмашинного исполнения генераторов. [1] Это приводит к усложнению традиционных методик расчетов и их длительности, из-за необходимости в кратчайшие сроки осуществить перебор различных вариантов в зависимости от заданных параметров. Одним из вариантов решения возникшей проблемы может стать расчетная методика, основанная на методе зубцовых контуров. [2]

Целью этой работы является создание методики поверочного расчета на примере имеющегося генератора, параметры и особенности которого известны и подтверждены экспериментально. Основой этого расчета является метод зубцовых контуров. Разрабатываемый программный комплекс необходим для быстрого получения внешних характеристик при различных режимах работы агрегата, учитывающий компоновку генератора в виде основного каскада, возбудителя и подвозбудителя.

Литература

1. **Левин А.В., Мусин С.М., Харитонов С.А., Ковалев К.Л., Герасин А.А., Халютин С.П.** Электрический самолет: концепция и технологии. Уфа: УГАТУ, 2014, 388 с.
2. **Ширинский С.В.** Методы анализа электрических машин: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2017, 256 с.

*А.П. Уфимцева, студ.;
рук. Т.Т. Амбарцумова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С УЧЁТОМ ДИНАМИКИ

В условиях современного развития электромеханических систем значимость макро моделирования в решении задач их анализа и синтеза возрастает. Наряду с причинами традиционными, применение компьютерного управления требует учёта динамических режимов работы электрических машин на стадии их проектирования. Как известно, в системном макро моделировании электрическая машина рассматривается как совокупность взаимоперемещающихся электрических цепей, находящихся в относительном движении. Для ряда задач весьма распространён подход, основанный на представлении машины как многоконтурной системы. Это могут быть модели машин специализированного исполнения или модели с интегральным контуром роторных вихревых токов. Основной проблемой здесь является адекватное определение параметров контуров. Проводившиеся во ВНИИЭМе испытания асинхронного двигателя с опытными образцами роторов дали материал для доказательства адекватности моделирования и определения параметров интегрального контура роторных вихревых токов. В решении задач синтеза отдаётся предпочтение методу многокритериальной поисковой оптимизации Соболя. Метод хорошо согласуется с концепцией экспертных систем.

В работе на основе результатов многокритериальной оптимизации решается задача построения ранжированного ряда семи моделей динамики асинхронного двигателя методом попарных сопоставлений при различных сценариях значимости четырёх критериев оптимизации. Необходимость в решении подобных задач может быть как на стадии проектирования, при выборе моделей, так и на этапе выбора готового образца двигателя. В настоящее время в решении задач системного моделирования отдаётся предпочтение программной среде MATLAB, которая играет роль своего рода научного калькулятора. Качество научных вычислений существенно улучшает расширение для символьных вычислений — MATLAB Symbolic Toolbox. Широкое применение в инженерных расчётах находит среда — Simulink.

Литература

1. **Амбарцумова Т.Т., Ле Куанг Кыонг.** Макро моделирование многоконтурных асинхронных машин в среде MATLAB-Simulink. Издательство МЭИ, 2020.
2. **Соболь И.М.** Выбор оптимальных параметров в задачах со многим критериями. М.: Наука, 1981.

М.С. Венцеров, студент; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОЗИЦИИ НА ПОТЕРИ В СТЕРЖНЯХ КРУПНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Одними из ключевых элементов электроэнергетической системы являются турбогенераторы. Мощность современных турбогенераторов, применяющихся на электростанциях, может достигать 2000 МВА [1]. Несмотря на высокий КПД (98–99%), потеря даже 1% мощности приводит к значительным тепловым нагрузкам, что обуславливает необходимость использования специальных систем охлаждения. Помимо оптимизации системы охлаждения необходимо сокращать сами потери.

При протекании переменного тока по проводнику возникает эффект вытеснения тока. Для его уменьшения стержень обмотки статора разделяют на элементарные проводники, изолированные друг от друга. Из-за их различного пространственного расположения и неоднородного распределения поля по глубине паза индуцированное в них напряжение различается. Следовательно, будут различаться и токи, что повлечет за собой разное тепловое состояние проводников. Это негативно сказывается на работе генератора. На концах стержня проводники технологически проще соединить между собой, что приводит к возникновению циркуляционных токов, вызывающих дополнительные потери. Уменьшить влияние упомянутых эффектов можно путем применения транспозиции полусекции (рис. 1).

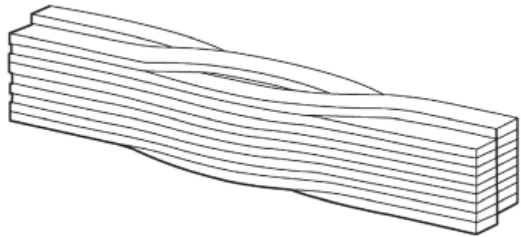


Рис. 1. Пример транспозиции стержня с косвенным охлаждением

В работе проводится численное моделирование стержня турбогенератора с косвенным охлаждением при различных способах транспозиции с целью оценки степени компенсации потерь.

Литература

1. **Geoff Klempner, Isidor Kerszenbaum.** Handbook of Large Turbo-Generator: Operation and Maintenance. — IEEE, 2018.

Е.Н. Великая, студент; рук. А.О. Сидоров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

В настоящее время в различных отраслях народного хозяйства находят применение электромеханические комплексы, содержащие электрические машины переменного или постоянного тока и управляемые преобразователи частоты. Концентрированная энергосистема мегаполисов характеризуется значительным энергопотреблением, большой величиной генерирующих мощностей, в результате этого уровень токов короткого замыкания (КЗ) может превышать максимальные значения токов отключения выключателей.

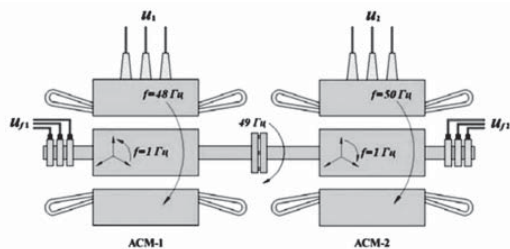


Рис. 1. Принципиальная схема АСЭМПЧ, состоящего из двух асинхронизированных машин (АСМ-1 и АСМ-2)

Рост уровней токов КЗ при развитии энергосистемы предъявляет повышенные требования в отношении стойкости элементов электротехнических устройств энергосистем. В ряде случаев для повышения устойчивости выгодно объединять энергосистемы не жестко, а «гибко» — посредством управляемых связей.

Вариантом снижения уровней токов КЗ является применение электромеханической вставки переменного тока на базе двух асинхронизированных машин (АСМ), валы которых объединены — асинхронизированный электромеханический преобразователь частоты (АСЭМПЧ). При этом статоры машин подключены к двум разным частям энергосистемы.

Для исследования рассмотрена математическая модель для проверки надежности работы АСЭМПЧ.

Литература

1. Шакарян Ю.Г. М.: Асинхронизированные синхронные машины. Энергоатомиздат, Москва, 1984. — 192 с.
2. Ю.А. Деметьев, П.В. Сокур, Ю.Г. Шакарян, А.В. Майоров, А.М. Шабаш, Д.Н. Ярош, Н.Д. Пинчук, В.С. Третьяков: Высоковольтные линии электропередачи, устройства управления линиями электропередачи.

*И.А. Артеменко, студент;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В данный момент асинхронные двигатели являются самым распространенным силовым элементом промышленного производства. Они зачастую работают в неблагоприятных эксплуатационных условиях, таких как низкое качество электроэнергии, пыльные, влажные помещения, агрессивная среда, резкие колебания температуры. Несмотря на простоту и надежность конструкции, в асинхронных машинах могут возникнуть неисправности, которые могут привести к перерывам в работе станков и других производственных механизмов. В связи с этим задача теоретического изучения и поиска новых методик и устройств по выявлению дефектов на начальных этапах их развития является крайне актуальной.

Основные источники развития повреждений асинхронного двигателя

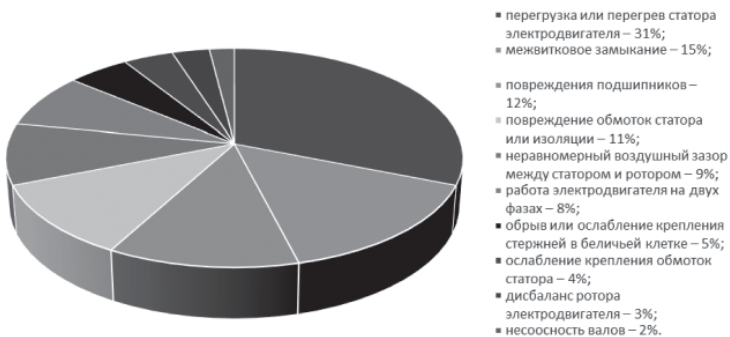


Рис. 1. Основные источники развития повреждений асинхронного двигателя

Данное исследование заключается в моделировании и анализе неисправностей асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в программе FEMM, а также динамической модели в программе MATLAB.

Литература

1. **Колесников В.В.** Моделирование характеристик и дефектов трехфазных асинхронных машин // Лань, 2017.
2. **Новожилов А.Н., Кислов А.П., Андреева О.А.** Метод численного моделирования работы АД с обрывом стержней в короткозамкнутом роторе // БЛ, 2004.

Д.Р. Городнов, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Цель данной работы — сокращение внеплановых простоев при эксплуатации электрических машин. Задача — оценка состояния электрической машины с помощью системы предиктивной аналитики.

Прогнозируемое техническое обслуживание можно понимать, как действие на оборудование, систему или установку, основанное на предыдущих знаниях об условиях эксплуатации или производительности, полученных с помощью ранее определенных параметров. Действие направлено на определение расхождения фактических показаний реальных датчиков физических величин и расчетных параметров модели оборудования (эталонного образца).

Современные системы и методы диагностики электрооборудования можно разделить на две группы: первая группа — методы тестовой диагностики, вторая группа включает в себя методы оперативной или функциональной диагностики.

При применении предиктивного метода обслуживания используют модели:

- 1) статистическую (описывает состояние оборудования в многомерном пространстве со статистической точки зрения и представляет физический объект в виде набора данных);
- 2) физическую (используется в режиме имитационного моделирования, при котором технологический объект заменяется моделью);
- 3) гибридную (совмещает математическое моделирование с физическими моделями).

В работе исследуется стратегия предиктивного технического обслуживания энергетического оборудования. Данная система предиктивного обслуживания увеличивает срок службы энергетического оборудования за счет устранения неисправностей на ранней стадии, сокращает незапланированные дорогостоящие простои и предотвращает возникновение отказов и аварийных ситуаций.

Литература

1. **Bonaldi E.L., De Lacerda de Oliveira L.E., Borges da Silva J.G., Lambert-Torres G. and Borges da Silva L.E.** Predictive Maintenance by Electrical Signature Analysis to Induction Motors, 2012.
2. **Предсказуемость — главное понятие ТЭК в 21 веке** <https://zaorotec.ru/content/predskazuemost-glavnoe-ponyatie-tek-v-21-veke/>

*А.А. Ролин, студ.; М.А. Михайлов, асп.;
рук. А.А. Кирякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ МАХОВИКА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В современных системах ориентации космических аппаратов широкое распространение получило применение электродвигателей-маховиков, выполненных на базе конструкции синхронной машины с магнитоэлектрическим возбуждением [1]. Перспективным направлением является разработка двигателей-маховиков с улучшенными энергетическими и механическими показателями.

Настоящее исследование направлено на повышение энергетических характеристик и снижение уровня вибраций, что существенно влияет на надежность космического аппарата и функционирование целевой аппаратуры.

Конструкция статора двигателя-маховика аналогична конструкции общепромышленных синхронных машин. Обмотка статора создает вращающееся магнитное поле, которое приводит во вращение ротор с постоянными магнитами [2]. На роторе размещены постоянные магниты. Материал постоянных магнитов — NdFeB.

Современные методики расчета параметров и характеристик электрических машин, разработанные на основе схемы замещения магнитной цепи, позволяют выполнить проектирование с высокой точностью. Численные методы анализа с использованием трехмерного моделирования обеспечивают верификацию полученных результатов.

Наиболее важными зависимостями являются электромеханические характеристики, полученные с учетом геометрии и свойств постоянных магнитов, а также динамические характеристики двигателя-маховика в различных режимах работы в системе ориентации космического аппарата.

В работе представлена методика расчета характеристик двигателя-маховика, разработанная на основе применения схемы замещения магнитной цепи. Приводятся результаты исследований развиваемого электромагнитного момента и скорости вращения ротора в зависимости от геометрии и свойств постоянных магнитов.

Литература

1. **Васильев В.Н.** Системы ориентации космических аппаратов. ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009.
2. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. школа, 1982.

Ф.К. Ходжаев, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПОВРЕЖДЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В данной работе исследуются различные неисправности и причины их возникновения в синхронных двигателях с постоянными магнитами (СДПМ).

СДПМ используются во многих промышленных областях. В данной работе рассматриваются неисправности, которые можно разделить на три группы: электрические, механические и магнитные неисправности.

Электрические неисправности в основном связаны с неправильным подключением обмоток двигателя, ошибками заземления, короткими замыканиями фазных обмоток статора и обрывами всей фазы [1].

Неисправности статора составляют 38% всех неисправностей двигателей. Среди них чаще всего возникает межвитковое замыкание обмотки статора.

Механические неисправности связаны с повреждением магнитов, изгибом вала, ослаблением крепления, неисправностью подшипников и эксцентриситетом воздушного зазора. Основная часть механических неисправностей связана с неизбежным износом подшипников, которые возникают даже при нормальной работе двигателя. Почти 40–50% неисправностей вызвано износом подшипников [2].

По сравнению со стандартным исполнением синхронного двигателя в СДПМ присутствует уникальный дефект: размагничивание. Постоянные магниты в СДПМ могут размагничиваться из-за повреждений магнита, высокой температуры, больших токов статора, большого тока короткого замыкания, а также старения самого магнита [3].

Литература

1. **Nandi, S.; Toliyat, H.A.; Li, X.** Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review. *IEEE Trans. Energy Convers.* 2005.
2. **Rosero, J.A.; Cusido, J.; Garcia, A.; Ortega, J.A.; Romeral, L.** Broken Bearings and Eccentricity Fault Detection for a Permanent Magnet Synchronous Motor. In *Proceedings of the IECON 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, Paris, France, 2006.*
3. **Gritli, Y.; Rossi, C.; Casadei, D.; Zarri, L.; Filippetti, F.** Demagnetizations diagnosis for Permanent Magnet Synchronous Motors based on advanced Wavelet Analysis. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Electrical Machines, Marseille, France, 2012.*

А.А. Чеботарева, студ.; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В большинстве производственных предприятий основными потребителями электроэнергии являются электрические двигатели [1]. Анализ неисправностей занимает важное место среди основных задач современности. Изменение режима работы двигателя при возникновении неисправностей является объектом исследования многих инженеров, так как диагностика механических неисправностей с помощью измерений напряжения и тока является довольно сложной задачей.

Целью данной работы является оценка состояния асинхронного двигателя с возможностью диагностики неисправностей на ранней стадии. К вышеупомянутым неисправностям нужно отнести:

- Механические
 - износ подшипников,
 - старение смазки,
 - нагрев,
 - клин;
- Электрические
 - межвитковое замыкание,
 - обрыв обмотки,
 - замыкание обмотки на корпус,
 - повреждение изоляции из-за нагрева [2].

Все эти неисправности можно прогнозировать на ранних стадиях с помощью анализа вибрации, температуры, акустического шума, сигнатурного анализа. Сигнатурный анализ тока статора может быть использован не только для диагностики неисправностей, но и для определения частоты вращения ротора, а также для защиты двигателя от нагрева. Благодаря этому для проведения измерений не потребуются дополнительный датчик тока.

Литература

1. **Копылов И.П.** Том 1. Справочник по электрическим машинам // Энергоатомиздат. 1988.
2. **Кальцман М.М.** Электрические машины. Справочник // КноРус. 2021.

Ю.А. Романов, студент; рук. А.С. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный двигатель — один из самых распространённых преобразователей электрической энергии в механическую. Используется данный тип машин практически во всех сферах производства и быта. Несмотря на то, что асинхронный двигатель обладает высокой надёжностью, в нём могут возникнуть внезапные поломки, что неизбежно приведёт к существенным денежным затратам и возможным повреждениям другого электрооборудования. Неисправности возникают из-за того, что электродвигатели часто работают в сложных эксплуатационных условиях. Развитие дефектов влияет на распределение магнитного поля асинхронного двигателя. В связи с этим анализ конечно-элементной модели распределения магнитного поля трёхфазного асинхронного двигателя, исследование зависимостей распределения плотности магнитного потока в магнитопроводе машины от степени прогрессии неисправности являются актуальными задачами.

Для исследования выбран асинхронный двигатель, данные которого использовались для построения конечно-элементной модели. Для анализа выбраны такие аварийные режимы работы, как обрыв фазы статора, обрыв фазы ротора, обрыв стержней ротора. Для увеличения точности результатов исследования созданы модель исправного двигателя и модель с различными уровнями развития дефекта. На основе полученных данных проведен анализ влияния неисправностей на характеристики электрической машины.

Литература

1. **Вольдек А.И., Попов В.В.** Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010.
2. **Колесников В.В.** Моделирование характеристик и дефектов трёхфазных асинхронных машин: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017.

С.А. Федина, студент;
рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО СИММЕТРИРУЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА

Индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН) в настоящее время находят широкое применение для электрообогрева протяженных промышленных трубопроводов для нефти, природного газа, мазута, серы и др. В основе их физического принципа действия лежит применение поверхностного эффекта и эффекта близости при протекании переменного тока по проводникам [1].

ИРСН являются достаточно мощными однофазными нагрузками, что обуславливает необходимость использования специальных симметрирующих трансформаторов — преобразователей числа фаз.

В работе показано, что наилучшим решением задачи симметрирования ИРСН является использование в схеме электроснабжения симметрирующего трансформатора ССТ (рис. 1). Симметричного режима энергопотребления в данной схеме для конкретных параметров схемы замещения нагрузки (ИРСН) добиваются путем правильного выбора числа витков обмоток трансформатора, а также подбором значений емкостей C_1 и C_2 .

В работе получена математическая модель предложенного симметрирующего трансформатора, реализованная в виде имитационной модели в пакете MATLAB/Simulink. С использованием разработанной математической модели проведено исследование электромагнитных процессов в симметрирующем трансформаторе, получены его характеристики, а также векторно-топографические диаграммы токов и напряжений.

Литература

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга. М.: Инфра-Инженерия, 2015.

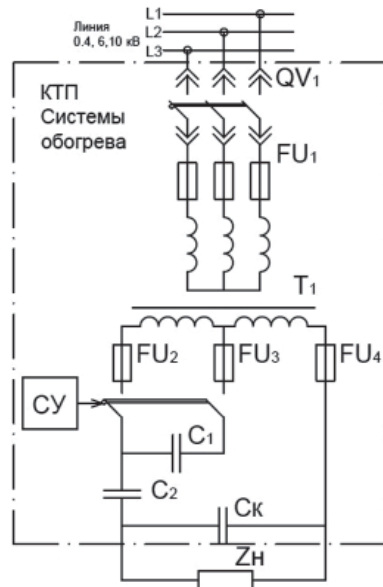


Рис. 1. Схема электроснабжения с применением специального трансформатора для подключения ИРСН

*А.М. Беспалов, студент;
рук. С.А. Коробков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ИННОВАЦИОННОМ ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИИ

В современном мире нарастает внимание к энергосберегающим технологиям, в том числе и к повышению энергоэффективности систем передачи и распределения электроэнергии. Существенная доля потерь в энергосистемах приходится на силовые распределительные трансформаторы.

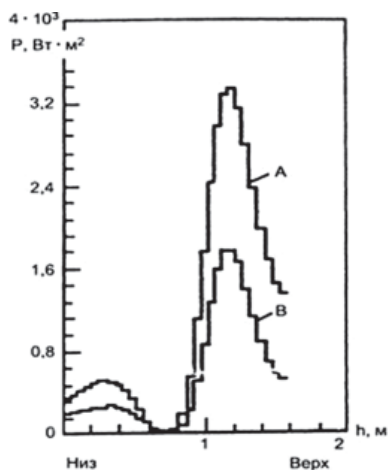


Рис. 1. Распределение удельных потерь по высоте бака: А — без экранирования, В — с экранированными шунтами

Добавочных потерь может внести значительный вклад в повышение энергоэффективности, среди таких мер можно отметить: использование магнитных шунтов из электротехнической стали; осуществление рациональной укладки витков; использование конструктивных элементов силового трансформатора, которые изготовлены из немагнитных материалов; применение проводящих экранов.

На рис. 1. приведено распределение потерь в стенке бака, вызванных полем рассеяния в случае отсутствия и наличия защитных элементов. Кривые получены численными расчетами с помощью метода конечных элементов.

Литература

1. **Савинцев Ю.М.** Экспертный анализ рынка силовых трансформаторов России. Ч. 2. IV–VIII габарит. Екатеринбург, Издательские решения, 2018.
2. Инновации в трансформаторостроении // ЭнергоНьюс. 2009. URL: <http://energo-news.ru/archives/123>.

*Е.О. Гунбина, студент;
рук. А.О. Сидоров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПАЗОВОГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Актуальность темы работы определяется развитием электротехнической промышленности, постоянным совершенствованием конструкций синхронных машин с постоянными магнитами, а также нарастающим интересом к разработке более эффективных устройств.

Важными являются задачи модернизации известных и разработка новых электромеханических преобразователей, повышения их энергетических показателей, а также улучшения различных характеристик машин, в том числе массогабаритных показателей [1].

Характерная особенность беспазовых синхронных машин с постоянными магнитами (БСМПМ) — отсутствие зубцово-пазовой зоны. Статор данной машины имеет гладкое исполнение, а на роторе располагаются постоянные магниты, которые являются системой возбуждения. Благодаря такой конструкции зубцовые гармоники магнитного поля отсутствуют, что позволяет существенно снизить добавочные потери электрической машины.

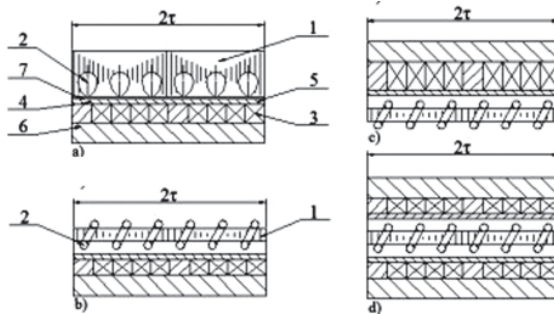


Рис. 1. Конструктивные модели синхронного двигателя с постоянными магнитами (1 — сердечник статора; 2 — обмотка статора; 3 — магниты; 4 — немагнитные вставки; 5 — втулка; 6 — сердечник ротора; 7 — воздушный зазор)

Цель работы: исследование и формирование вариантов конструкции БСМПМ для уменьшения высших гармоник и зубцовых моментов, возникающих в воздушном зазоре.

По результатам работы предложены рекомендации по проектированию БСМПМ. Показана эффективность применения данной конструкции для снижения зубцовых гармоник, представлены характеристики спроектированной машины.

Литература

1. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Д.И. Тарбаев, студ.; рук. Е.М. Соколова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АМОРТИЗАТОР

Электрический амортизатор используется в транспортных средствах для преобразования кинетической энергии в электрическую. Эта энергия может быть использована для зарядки батареи и повышения КПД привода.

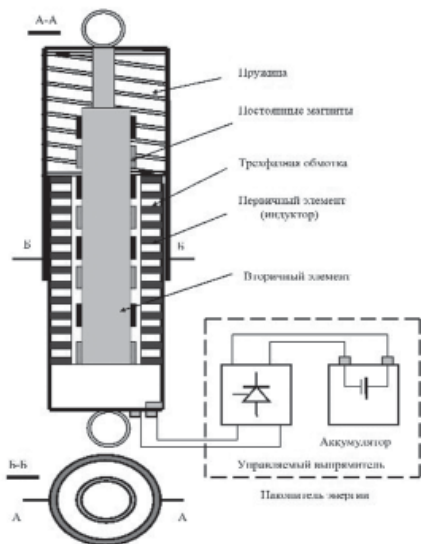


Рис. 1. Конструктивная схема электрического амортизатора

с постоянными магнитами, которые присоединены к стальному сердечнику. Накопитель энергии состоит из управляемого выпрямителя, соединенного с батареей.

Во время качаний автомобиля вторичный элемент движется относительно индуктора. Из-за относительного линейного движения первичной обмотки и вторичных постоянных магнитов в катушке индуцируется переменное напряжение. Данное напряжение выпрямляется трехфазным управляемым преобразователем.

Магнитное поле, созданное постоянными магнитами, меняется относительно индуктора. Его сердечник должен быть: шихтованным для уменьшения потерь на вихревые токи и гистерезис; изготовлен из твердого железа, чтобы магнитный поток в нем был устойчивым.

Литература

1. Соколова Е.М., Мощинский Ю.А. Модель электродинамического амортизатора. Вопросы теории и проектирования электрических машин. Сборник научных трудов / Ульяновский гос. тех. унт-т. Ульяновск, 2017 г.

В.А. Малышев, студент; рук. Е.В. Качалина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ВЭУ

Одной из разновидностей выработки электрической энергии являются ветроэнергетические установки (ВЭУ) на базе синхронного генератора с постоянными магнитами. Для ветроустановок возможно применение следующих типов генераторов: асинхронные генераторы, синхронные генераторы с постоянными магнитами [1].

Синхронный генератор на постоянных магнитах (СПМ) имеет простую конструкцию, легок в обслуживании, надежен и имеет высокий КПД. Улучшение характеристик СПМ достигается за счет применения высококоэрцитивных постоянных магнитов. В то же время имеется сложность его регулирования и стабилизации напряжения.

Асинхронный генератор (АГ) так же имеет простую конструкцию, надежен, имеет невысокую стоимость относительно СПМ. Применение АГ в автономных ветроустановках менее распространено из-за отсутствия малогабаритных конденсаторов, обеспечивающих возбуждение генератора и компенсацию реактивной мощности нагрузки, а также из-за сложности стабилизации выходного напряжения.

Обе машины имеют одинаковый КПД. Однако если рассматривать генератор как часть ветроустановки, то наиболее эффективен СПМ, поскольку для нормальной работы АГ требуется стабилизатор, снижающий КПД в большей степени, чем редуктор, необходимый для СПМ [1]. Самым распространенным в ВЭУ является СПМ, который в отличие от асинхронного генератора обладает высокими энергетическими характеристикам.

В работе выполнено проектирование генератора с постоянными магнитами с целью оценки влияния конфигурации магнитной системы на характеристики синхронного генератора.

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.

А.Е. Глушкова, студ.; рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Электрические машины выполняют функции преобразования выработанной механической энергии в электрическую и обратное преобразование энергии у потребителей. Это объясняет их значимость в электротехническом машиностроении. Наиболее широкое распространение в промышленности, сельском хозяйстве и быту получили индуктивные машины.

Преобразование электрической энергии в механическую и наоборот осуществляется с помощью электромагнитного поля электрической машины. Уравнения Максвелла являются основными уравнениями, описывающими электромагнитное поле:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{D} = \rho \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

где

\vec{D} — вектор электрической индукции, Кл/м², \vec{E} — вектор напряжённости электрического поля, В/м,

\vec{B} — вектор магнитной индукции, Тл, \vec{H} — вектор напряженности магнитного поля, А/м,

\vec{j} — плотность токов проводимости, А/м², ρ — объёмная плотность электрических зарядов, Кл/м³.

С помощью приведенных уравнений (1) и метода зубцовых контуров, который включает в себя анализ схемы замещения магнитной цепи с сосредоточенными параметрами, в среде программирования MATLAB были выполнены расчеты потокоцепления фазы статора за время одного полного оборота ротора и симметричной активно-индуктивной нагрузки для разных скоростей вращения и коэффициентов нагрузки высокоскоростного синхронного двигателя с постоянными магнитами на роторе. Данный метод позволит увеличить скорость расчета установившегося режима почти в 10 раз по сравнению с методом конечных элементов и значительно уменьшить вес модели.

Литература

1. Белогловский А.А., Пашинин И.В. Методы расчета электрических полей в приборах и задачах: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. Ширинский С.В. Методы анализа электрических машин. Учебное пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2017.

Ш.М. Мирзоева, студ.; рук. В.Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

Вентильный электродвигатель — это синхронный двигатель с электронным коммутатором и системой управления, объединённые общим корпусом. Вентильный двигатель относится к машинам постоянного тока, так как его питание обычно производится от источника постоянного напряжения. Характеристики вентильного двигателя подобны характеристикам коллекторного двигателя постоянного тока. Благодаря хорошим регулировочным характеристикам вентильные двигатели получили широкое распространение в приводах роботов, станков и других промышленных механизмов.

Вентильный двигатель представляет из себя систему регулируемого электропривода, состоящего из электромеханического преобразователя энергии (синхронного электродвигателя) и вентильного преобразователя с системой управления, обеспечивающей коммутацию цепей фаз синхронного двигателя в зависимости от положения его ротора. Система управления электронным коммутатором вентильного двигателя реализует принцип частотного регулирования, заключающегося в управлении вектором магнитного поля статора синхронного двигателя.

Традиционно управление вектором магнитного поля осуществляется изменением МДС фаз электродвигателя по определённому закону, путём изменения токов фаз. Требуемый закон изменения токов фаз определяется либо расчётным, либо экспериментальным путём, что требует больших вычислительных ресурсов системы управления или большой памяти для хранения данных для реализации требуемого закона изменения токов, который не всегда является оптимальным.

Для упрощения системы управления в работе рассматривается принцип регулирования вектора магнитного поля путём прямого управления магнитным потоком фаз. Используется принцип стабилизации магнитного потока фазы в течение цикла коммутации, что позволяет минимизировать реактивную мощность двигателя. По сравнению с известными двигателями, реактивная мощность снижается на 20%.

Литература

1. **Овчинников И.Е.** Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. М.: Корона-Век, 2006.
2. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели. М.: Издательство МЭИ, 2003.

А.Д. Нажмудинов, студ.; рук. В.Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПАВОДКОВЫЙ ГИДРОГЕНЕРАТОР

Современная гидроэнергетика, как большая, так и малая, использует стабильные водные потоки с целью поддержания выработки электроэнергии в течение года. Стабильность водного потока гидроэлектростанций обеспечивается с помощью водохранилища. В нем водные ресурсы накапливаются во время паводка, когда водный поток реки, питающей водохранилище, увеличивается и расходуются, когда во время сухого сезона водный поток реки уменьшается. Вместе с тем, полностью использовать водные ресурсы во время паводка не удаётся, для этого потребовалось бы слишком большое водохранилище и слишком большая плотина. Поэтому «лишнюю» паводковую воду просто направляют в водосброс плотины.

Энергию паводковой воды можно использовать с помощью специальных паводковых гидроагрегатов, расположенных в зоне водосброса плотины. Поскольку время паводка составляет не более одного месяца в году, годовой фонд рабочего времени паводкового гидроагрегата будет в 10–15 раз меньше рабочего времени традиционного гидроагрегата гидроэлектростанции. Основное требование к паводковому гидроагрегату — минимальная стоимость, чтобы срок его окупаемости как можно меньше превышал соответствующий показатель агрегата традиционной гидроэлектростанции.

Паводковый гидроагрегат с реактивным генератором имеет внутренний цилиндрический статор с шихтованным магнитопроводом из электротехнической стали и 3-фазной якорной обмоткой, расположенной в пазах на внешней поверхности магнитопровода. Вокруг статора вращается реактивный безобмоточный ротор, выполненный в виде сварного стального цилиндрического корпуса с полюсами из пластин конструкционной стали на внутренней поверхности. На внешней поверхности корпуса ротора крепится ковшовая турбина. Гидроагрегат крепится в нижней части водосброса в зоне максимальной скорости водяного потока.

Литература

1. **Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В.** Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. М.: Высшая школа, 2001.
2. **Германович В.А.** Альтернативные источники энергии и энергосбережение. М.: Издательский дом: «Наука и Техника», 2014.

Н.Ю. Кутырёв, студ.; рук. А.О. Сидоров, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ МАГНИТНОГО ПОДВЕСА

Развитие крупного электромашиностроения в значительной степени определяется качеством подшипниковых опор. Магнитный подшипник — элемент опоры осей, валов и других деталей, работающих на принципе магнитной левитации. Магнитная левитация — это технология подъёма объекта с помощью магнитного поля, когда для компенсации ускорения свободного падения или любых других ускорений используется магнитное действие на объект. Существует большое количество способов реализации магнитной левитации, но все они имеют свои особенности, недостатки и условности.

Магнитные материалы и системы способны притягивать или отталкивать друг друга с силой, зависящей от магнитного поля и поверхности магнита. Из этого следует, что может быть определено магнитное давление. Магнитное давление магнитного поля сверхпроводника подсчитывается по формуле: $P = B^2 / (2\mu_0)$, где P — сила на единицу площади поверхности в Паскалях, B — магнитная индукция над сверхпроводником в Теслах, $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{А}^{-2}$ — магнитная проницаемость вакуума [1].

В работе исследуются способы увеличения подъемной силы магнитного подвеса путем подбора различных проводящих материалов, конструктивных особенностей и подбора параметров системы. Для этих целей используется 3D модель магнитного подвеса, созданная при помощи пакета программ COMSOL. С помощью модели магнитного подвеса при разных параметрах исследованы способы увеличения подъемной силы.

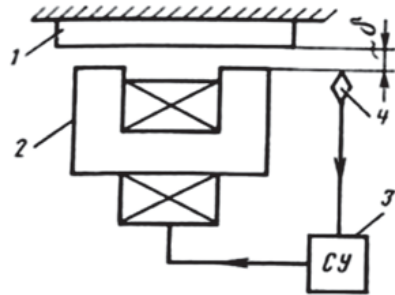


Рис. 1. Принципиальная схема ЭМП:
1 — феррорелье (ФР); 2 — Силовой исполнительный элемент (СИЭМ);
3 — Система управления.

Литература

1. Трифонова Н.П., Иртышский Э.Б. Конструктивные особенности механизмов с магнитными подшипниками // Труды ВНИИЭМ, 1989.

А.О. Шаманов, студент; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ



Рис. 1. Пример вертикально-осевой ВЭУ с ротором Н-Дарье

В настоящее время все более широкое применение находят системы энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, в частности ветровой энергии. Самыми широко используемыми ветроэнергетическими установками (ВЭУ) являются горизонтально-осевые ВЭУ. Однако, последнее время все больший интерес вызывают вертикально-осевые ВЭУ. Основными преимуществами вертикально-осевых ВЭУ являются:

— Независимость работы установки от направления ветра.

— Возможность расположения сложных

узлов и механизмов у основания (на уровне земли) установки, что облегчает обслуживание ВЭУ.

— Форма лопастей значительно проще чем у горизонтально-осевых ВЭУ.

— Малая шумность, что делает их более привлекательными для городской среды.

Существует два основных типа ветроколеса (ротора): быстроходные Н-Дарье и тихоходные типа Савониуса. В работе проводится численный анализ основных элементов вертикально-осевой ВЭУ с ротором Н-Дарье (рис. 1).

И.А. Стерлигов, студ.;
рук. Д.Н. Орешкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛИНЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР СО СВОБОДНЫМ ПОРШНЕМ

Линейный генератор со свободнопоршневым двигателем (рис. 1) — это преобразователь энергии, который может генерировать электрическую энергию, и рассматривается он как потенциальная технология для решения проблемы ограниченного пробега электромобилей. Избавившись от кривошипно-шатунного механизма, такой двигатель получает ряд преимуществ в виде переменной степени сжатия, компактных размеров и др. Генератор со свободным поршнем, который использует сгорание топлива для непосредственной выработки электроэнергии без использования приводного вала, может обеспечить больше возможностей электромобилей. Он намного меньше и эффективнее, чем обычный двигатель внутреннего сгорания. Высокоэффективный электрогенератор необходим для увеличения «запаса хода» благодаря возможности заряда аккумулятора во время движения.

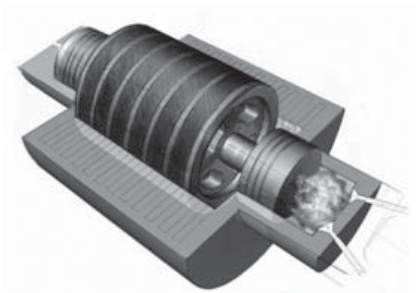


Рис. 1. Линейный генератор в разрезе

Преимущества линейного генератора со свободным поршнем:

- 1) уменьшение числа движущихся деталей;
- 2) повышение жесткости и механической надежности конструкции двигателя;
- 3) повышение ресурса и механического КПД двигателя вследствие отсутствия шатунов, что приводит к исключению боковых сил, действующих на зеркало цилиндра и уменьшению трения в цилиндропоршневой группе;
- 4) исключение стартера для запуска ДВС, так как электрический генератор может работать и как линейный электродвигатель;
- 5) возможность динамического изменения степени сжатия в каждом такте.
- 6) снижение расходов на производство.

Литература

1. naukatehnika.com, <https://naukatehnika.com/svobodnoporshnevoj-dvigatel.html>

М. Диб, асп., рук. Н.Ф. Котеленец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ СТАТОРА АД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Дискретное вейвлет-преобразование — это эффективный метод, который обеспечивает частотно-временное представление сигнала, используемого для диагностики состояния асинхронного двигателя. После того, как анализ сигнала вейвлет-аппроксимации, связанный с конкретной неисправностью, был обнаружен и серьезность неисправности была определена количественно, можно сделать диагностический вывод. По сигналу аппроксимация уровня 11 (рис.1) мы получаем четкое изменение вейвлет-сигнала, как только возникает короткое замыкание (КЗ). Таким образом, можно сказать, что мы можем диагностировать наличие более короткой цепи по изменению характера Вейвлет-сигнал. Чтобы оценить серьезность неисправности, мы будем полагаться на общее выражение для расчета параметров λ_{nf} следующим образом, [1] :

$$\lambda_{nf} (dB) = 10 \log \left(\frac{\sum_{j=N_b}^{N_s} i_j^2}{\sum_{j=N_b}^{N_s} [A_{nf}(j)]^2} \right) \quad (1)$$

Где i_j — значение j-й выборки сигнала тока, $A_{nf}(j)$ — j-й элемент аппроксимация Вейвлет-сигнал порядка “nf”. Выражение (1) представляет собой отношение полученного в эксперименте тока короткого замыкания и вейвлет-сигнала, используемого для количественной оценки в пределах указанного интервала времени, выраженное в децибелах. Используя выражение (1), можно определить параметры для количественной оценки серьезности неисправности, которые оказались разумными (табл. 1).

Таблица 1. Количественные параметры

| | |
|----------------|----------------------|
| Вейвлет-сигнал | A11 |
| Nb | 8855 |
| Ns | 39000 |
| АД | Номинальная нагрузка |
| КЗ, 0% | -52.3218 |
| КЗ, 1% | -48.809 |
| КЗ, 6% | -47.7422 |

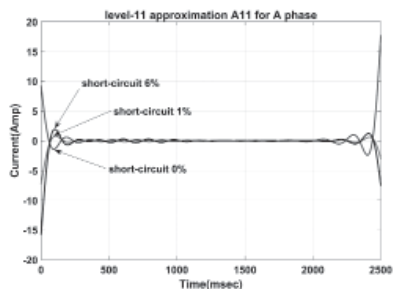


Рис. 1. Вейвлет-сигнал при разном проценте КЗ

Литература

1. Н. Douglas, “A New Algorithm for Transient Motor Current Signature Analysis Using Wavelets,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 40, no. 5, pp. 1361–1368, Sep/Oct. 2004.

*О.А. Харькина, М.В. Здорова, А.А. Широков студ.;
рук. С.В. Журавлев, к.т.н. (НИУ МАИ)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Синхронные генераторы (СГ) с возбуждением от постоянных магнитов (ПМ) вызывают наибольшую заинтересованность среди традиционных электрических машин (ЭМ). Это обосновывается тем, что СГ с ПМ позволяют получать максимальную электрическую мощность при минимальной массе ЭМ и достигнуть значение удельной массы на уровне 0,2–0,25 кг/кВт. Также стоит отметить, что СГ с ПМ являются полностью автономными и не требуют дополнительной энергии на возбуждение.

Успехи в разработке новых материалов постоянных магнитов с большой удельной магнитной энергией постоянно расширяют диапазон мощностей, в котором по массогабаритным и эксплуатационным характеристикам СГ с ПМ стали перспективными и часто используемыми.

Магниты получают на основе сплавов редкоземельных металлов. К таким металлам относятся, например, неодим (Nd) и самарий (Sm). На сегодняшний день существует большое количество сплавов, содержащих в своем составе данные компоненты. Самыми распространённым среди них являются сплав неодим-железо-бор (Nd-Fe-B) и самарий-кобальтовый (Sm-Co). Эти сплавы отличаются высокой стойкостью к размагничиванию, высокой стойкостью к внешним механическим воздействиям, а также высокими значениями коэрцитивных сил по магнитной индукции и намагниченности.

Зачастую возникает задача за короткий промежуток времени рассчитать большое количество ЭМ с разными мощностями и оценить их удельные характеристики. Это невозможно осуществить без разработки методики оптимального проектирования с учетом свойств материалов и энергетических характеристик.

Задача данной работы — разработка методики ускоренного расчета и программы оптимизации для СГ с ПМ. Исходными параметрами программы выступают полная мощность генератора, частота вращения и коэффициент мощности. Также методика базируется на параметрах линейной нагрузки, плотности тока в обмотке якоря, суммарной площади меди в пазу. Поэтому в явном виде в программе не требуется указывать конкретные значения напряжения и тока, число витков и проводников в пазу. Цель разработки программы оптимизации — определение наилучших геометрических и удельных параметров СГ с ПМ, а также возможность оценивания массогабаритных показателей ЭМ, полученных на основе введения исходных данных в программу.

*В.А. Кадеров, асп.; Н.А. Малевич, студ.;
рук. Н.С. Иванов, к.т.н. (НИУ «МАИ», Москва)*

ВТСП ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ МАГНИТНОЙ ЦЕПЬЮ

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.

Сегодня особое внимание уделяется развитию специального электротехнического оборудования. Для удовлетворения энергетических потребностей электрические машины должны обладать высокими значениями удельной и объемной мощности. На сегодняшний день, перспективными выглядят машины с ВТСП обмотками ротора и статора, т.к. они обладают высокими электромагнитными нагрузками. Устройства, созданные с использованием сверхпроводниковых технологий, могут иметь размеры в два-пять раз меньше, чем аналогичные традиционные при том же или более высоком уровне мощности.

В работе рассматривается полностью ВТСП электрическая машина. В качестве криоагента для системы охлаждения предполагается использовать сжиженный водород при температуре 20 К. Выбор водорода обусловлен высокой токнесущей способностью ленты.

Первым шагом создана модель активной зоны электрической машины, проведен электромагнитный расчет. Результаты расчета используются для проверки критического тока сверхпроводника в соответствии с полевой зависимостью.

Затем выполнен расчет выходных параметров машины для определения удельной мощности. Расчет удельной мощности происходил с учетом масс всех составляющих элементов и учетом механических ограничений, таких как максимальная скорость ротора. Проведен параметрический анализ для выявления оптимальной конструкции. В результате получены зависимости удельной мощности от варьируемых геометрических параметров, по которым выбрана наилучшая геометрия.

Данный метод позволяет выбирать геометрические размеры активной зоны с учетом полевой зависимости сверхпроводниковой ленты, используемой 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.

*И.С. Егоров, асп.; С.А. Нестеров, к.т.н., доцент;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ДЕМПФЕРА

В последнее время все больший интерес уделяется управляемым электромеханическим магнитожидкостным демпфирующим устройствам, у которых основным достоинством является возможность изменения силовой характеристики путем воздействия на их рабочее тело магнитным полем, что предполагает актуальность исследования таких демпферов.

В работе [1] показываются различные варианты исполнения демпферов в зависимости от предъявляемых к ним эксплуатационных требований. Из исследования становится ясно, что достаточно мало изученными демпферами являются демпферы, позволяющие поглощать колебания и вибрации малой частоты и амплитуды, но развивающие большие компенсирующие усилия. Принцип их работы основан на эксплуатации магнитной жидкости на начальном участке её реологической кривой. В работе [2] рассматривается одна из возможных моделей такого демпфера. Однако такая конструкция обладает достаточно малыми размерами поверхности рабочего зазора с магнитной жидкостью.

Таким образом, задача исследования состоит в определении конструкции магнитной системы стационарной части и определении конструкции подвижного элемента таким образом, чтобы обеспечивалось большое усилие гашения при малых амплитудах колебаний. Для достижения этого необходимо, чтобы магнитное поле в рабочем зазоре, в котором располагается магнитная жидкость, было равномерным, площадь рабочего зазора была большой, а величина самого зазора — относительно малой.

Исходя из поставленных задач, была выбрана и оптимизирована наиболее подходящая конструкция электромеханического магнитожидкостного демпфера.

Литература

1. **Казаков, Ю.Б.** Влияние эксплуатационных требований на конструкцию магнито-жидкостных демпферов / Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, И.С. Егоров // *Материалы международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро — и теплотехнологии» (XXI Бенардосовские чтения): сб. статей, 3 том.* — Иваново, ФГБОУВО ИГЭУ, 2021. — С. 234–237.
2. **Adjerid, Kh.** A Study on the Dynamic Characterization of a Tunable Magneto-Rheological Fluid-Elastic Mounts in Squeeze Mode Vibration: Master of Science In Mechanical Engineering Dissertation, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, 2011. — 121 p.

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

*Т.В. Яловой, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н., ст. преподаватель;
Д.С. Холодный, к.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА АЭС

Для большинства кабельных изделий в соответствии с ГОСТ подтверждение на сейсмостойкость (устойчивость и/или прочность) проводят испытанием синусоидальной вибрации качающейся частотой, либо воздействием фиксированных частот [1]. Но в регламентирующих документах на испытания отсутствуют рекомендации о способах крепления образцов кабелей при испытаниях, а также значения характеризующих частот при проведении испытаний на сейсмостойкость кабельных изделий.

В представленной работе разработана методика испытаний силовых и контрольных кабелей с медными проводниками на сейсмостойкость, которую можно использовать для проведения испытаний на сейсмостойкость, при отсутствии указаний на данные типы испытаний в технических условиях на кабели.

Для проведения испытаний на сейсмостойкость в работе использовался вибростенд, создающий частоту и амплитуду ускорения колебаний. Согласно разработанной методике для всех типов испытаний используется диапазон частот от 5 до 100 Гц. В качестве параметров критериев годности во время и после сейсмических воздействий рассматривается внешний вид оболочки кабелей, целостность электрических жил, а также испытание пробивным напряжением (после воздействия вибрационной нагрузки).

Согласно разработанной методике проведены испытания пяти силовых и контрольных кабелей эксплуатирующихся на атомных станциях РФ. Для дальнейшей апробации методики необходимо дополнительно набирать статистику испытаний на сейсмостойкость.

Литература

1. **Корякин А.Г., Ларин Ю.Т.** Современные методики испытаний оптических волокон и оптических кабелей на сейсмостойкость // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. Материалы 20-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. — Ульяновск, 2017. — С. 19–20.

А.И. Никитин, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПЛАВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ В ПРОЦЕССЕ СПЛАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Сети связи, построенные на использовании оптических кабелей, создают путем специальных соединений различных типов кабелей с помощью оптических разветвителей [1].

Параметры передачи сплавных оптических разветвителей зависят от технологических параметров процесса сплавления оптических волокон [2].

В настоящее время информация о технологии изготовления сплавных оптических разветвителей с изменяемыми непосредственно в процессе сплавления технологическими параметрами в имеющейся доступной литературе отсутствует.

Применение температуры сплавления 1700–1800°C до момента начала перекачки мощности из одного оптического волокна в другое, а затем 1200–1300°C позволило уменьшить вносимое затухание в сплавных оптических разветвителях с типичных 0,1–0,3 до 0,05 дБ. Температурная стабильность таких сплавных оптических разветвителей $\pm 0,1$ дБ при изменении температуры окружающей среды от -20 до +75°C, против $\pm 0,3$ дБ у сплавных оптических разветвителей, изготовленных со строго фиксированными технологическими параметрами изготовления.

Создание двух биконических переходов в сплавных оптических разветвителях, где первый делил мощность в соотношении 50/50% при длине волны 1,55 мкм и 75/25% при 1,31 мкм между плечами, а второй — 14/86% при 1,55 мкм и 50/50% при 1,31 мкм, позволило добиться суммарного деления мощности 50/50% на обеих длинах волн, чего невозможно добиться с одним биконическим переходом при одинаковых диаметрах сплавляемых оптических волокон.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о возможности расширения номенклатуры сплавных оптических разветвителей с помощью применения технологии изготовления с изменяемыми в процессе сплавления технологическими параметрами.

Литература

1. **Базакуца П.В., Боев М.А., Никитин А.И.** Применение оптических разветвителей в сетях связи со спектральным уплотнением // Кабели и Провода. — М.: ООО «Журнал «Кабели и Провода», 2020. — № 6 (386). С. 17–23.
2. **Базакуца П.В., Боев М.А., Никитин А.И.** Исследование влияния технологических параметров производства на технические характеристики сплавных (FBT) оптических разветвителей // Фотон-Экспресс. — 2021. — № 6 (174) — С. 38–39.

П.А. Кудзинович, соиск.;
рук. Р.Е. Невский, к.т.н. (ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»)

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛЁНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы высоковольтной изоляции во многом определяют технические характеристики электрофизических систем и их работоспособность в условиях эксплуатации. В некоторых случаях применение в составе изоляции одного полимерного материала не может обеспечить выполнения всех предъявляемых требований, и в таких случаях целесообразно использование композиционных плёночных материалов, обладающих необходимым комплексом свойств.

Целью данной работы являлось определение влияния строения и состава компонентов на электрические параметры ряда композиционных плёночных материалов, применяемых в электрической изоляции изделий разработки ФГУП «ВНИИА».

Был проведён анализ полученных экспериментальным путём температурных и частотных зависимостей электрофизических характеристик (электропроводности γ , диэлектрической проницаемости ϵ' , фактора потерь ϵ'') композиционных плёночных материалов, рассчитаны параметры диэлектрической релаксации и температуры структурных переходов.

Установлено, что в случае исследованных материалов изменение электрических параметров многослойных плёночных материалов определяются в первую очередь изменением свойств адгезионных слоёв.

В литературе достаточно широко освещены результаты исследований диэлектрической релаксации и электропроводности различных полимерных материалов, в том числе наполненных (в частности [1, 2]), однако информация по подобным исследованиям для многослойных полимерных материалов отсутствует. В связи с этим поставленная в работе задача является актуальной и представляющей научный интерес.

Литература

1. **M. Mokni, A. Kahouli, F. Jomni, J.-L. Garden, E. Andre, A. Sylvestre.** Dielectric Investigation of Parylene D Thin Films: Relaxation and Conduction Mechanisms. *J. Phys. Chem. A* 2015, 119, 9210–9217.
2. **F. Benabed, T. Seghier.** Dielectric Properties and Relaxation Behavior of High Density Polyethylene (HDPE). *Applied Mechanics and Materials* 2015, Vols. 799–800, 1319–1324.

А.В. Зиновьев, асп.;
рук. Р.Е. Невский, к.т.н. (ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕХАНИЗМЫ ОТКАЗОВ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Работоспособность танталового конденсатора обеспечивается диэлектрическим слоем пентоксида тантала, дефекты в процессе производства и деградация которого может привести к пробое конденсатора. Аморфная фаза пентоксида тантала термодинамически нестабильна, и при воздействии тепловой энергии и внешнего электрического поля переходит в низкоэнергетическую фазу, что влечет рост кристаллов в областях с высокой концентрацией примесей [1]. Электрическое поле не является механизмом потенциального роста кристаллов, но в сочетании с тепловой энергией создает более высокую полную энергию и более высокий коэффициент ускорения роста кристаллов.

В соответствии с этим, целью данной работы является исследование влияния различных режимов термоэлектротренировки на работоспособность танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов.

В работе приведен обзор анализа отказов танталовых конденсаторов [2], исследуется влияние термоэлектротренировки на значение тока утечки. Проведен расчет энергии активации проводимости танталовых конденсаторов после термоэлектротренировки.

В результате работы установлено, что излом температурной зависимости удельной проводимости для танталовых конденсаторов после термоэлектротренировки наступает при 85°C. Энергия активации после термоэлектротренировки для танталовых конденсаторов лежит в пределах 0,13–0,22 эВ для низкотемпературной области и 0,41–0,56 эВ для высокотемпературной области. В диапазоне рабочих температур танталовых конденсаторов преобладающий механизм проводимости связан с миграцией электронов в слоях пятиоксида тантала.

Литература

1. **Сибгатуллин Б.И., Барусков В.К.** Механизмы отказов танталовых конденсаторов в установившихся и переходных режимах работы, Электротехнические комплексы и системы, 2015. — 185–189 с.
2. **Teverovsky A.** Surge current testing and derating for solid tantalum capacitors, Parts, Packaging, and Assembly Technologies Office, Code 562, GSFC/ASRC Federal Space and Defense, ESA Sept. 2013. — 17 p.

А.А. Филиппов, асп.;
 рук. С.В. Серебрянников, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КАБЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ (ВКА) ОТ СТЕПЕНИ ОБЖАТИЯ

Каждый тип ВКА монтируется на кабель с определённой степенью обжатия. Этот параметр используется при конструировании ВКА для определения окончательной геометрии дефлекторов. От него также зависит электрическая прочность внутренней поверхности ВКА.

Эта зависимость была ранее исследована в статье [1].

Используемые в указанных исследованиях модели не учитывали форму поля, характерную для кабеля и расположение электродов кабельной арматуры, т.е. дефлекторов. Кроме того, либо величина давления не характеризовалась численно, либо давление было приложено с помощью внешних инструментов, в то время как в ВКА это давление возникает из-за растяжения тела ВКА.

Чтобы избежать данных недостатков этих экспериментальных сборок, была предложена иная модель (рис.1).

Представленная модель состоит из двух дефлекторов, которые симулируют функции высоковольтного дефлектора и дефлектора экрана соединительной муфты, которые заключены в изолирующую матрицу.

Представленная модель муфты монтируется на подготовленный кабель. Диаметр по изоляции кабеля должен изменяться в разных сериях эксперимента, обеспечивая разные степени обжатия.

Расстояния между электродами выбрано таким же, каким было представлено в вышеупомянутой статье для последующего сравнения результатов и составляет 10 мм.

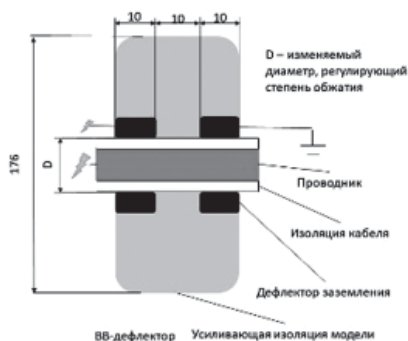


Рис. 1. Модель исследования зависимости электрической прочности внутренней поверхности ВКА от степени обжатия

Литература

1. Farahani M. Influence of the Joint Pressure on Dielectric Strength at the Interface between PE and Silicon, Institute of Electric Power Systems (Schering-Institute), Leibniz Universität Hannover, Germany, 2016.

*Д.М. Бабышкина, И.Е. Воронцов, студенты;
рук. А.И. Тихонов, к.т.н. профессор (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

В условиях пандемии усиливается интерес к средствам дистанционного обучения, в том числе и к виртуальным лабораторным практикумам (ВЛП). Основными требованиями к реализации ВЛП являются: низкая трудоемкость разработки и эксплуатации, высокая надежность и доступность, масштабирование, возможность функционирования на различных пользовательских устройствах, включая планшеты и смартфоны, отсутствие необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

В докладе рассматривается подход к реализации ВЛП по электротехническому материаловедению (ЭТМ). Предметная область ЭТМ отличается отсутствием количественных математических моделей, что вынуждает использовать подход *отложенного эксперимента* [1] — «проигрывания» с помощью виртуальных устройств и оборудования реальных предварительно полученных экспериментальных данных по воздействию внешних факторов (нагрев, приложение электрических и магнитных полей и т.д.) на ЭТМ. Рассматриваются различные подходы к реализации ВЛП, в том числе путем встраивания в LMS, например, Moodle и edX. В качестве основной технологии реализации лабораторных работ ВЛП выбран Plotly Dash. Данная технология отвечает всем требованиям, поставленным в докладе. К ее достоинствам можно отнести возможность разработки как серверной, так и клиентской составляющей ВЛП на Python, технология создания и встраивания компонентов, функционирующих на стороне пользователя, — повторно используемых виртуальных приборов и устройств — с помощью фреймворка React. В свою очередь, лабораторные работы ВЛП встраиваются в веб-приложение Django, обеспечивающее администрирование контента и пользователей, разграничение доступа. Взаимодействие между административной системой и ВЛП осуществляется с помощью технологии `django-plotly-dash`. Рассмотренные в докладе средства и технологии позволяют разрабатывать ВЛП и интегрированные в них электронные учебники не только по ЭТМ, но и другим дисциплинам.

Литература

1. **A.A. Sutchenkov, A.I. Tikhonov.** Electrical Engineering Materials Virtual Laboratory. 2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). ISBN: 978-1-5386-5832-1 DOI: 10.1109/INFORINO.2018.8581843

*К.С. Маслов, студ.; рук-ли А.Г. Корякин, к.т.н., ст. преподаватель;
В.М. Леонов, доц. (НИУ «МЭИ»)*

КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГЕРМОЗОНЕ АЭС

Работа посвящена исследованию пожаробезопасных электрических кабелей нового поколения, применяемых на АЭС, на базе полимерных композиций, не содержащих галогенов и композиций поливинилхлорида с низким уровнем дымо-газовыделения. Рассмотрены современные требования к пожаробезопасным кабелям, методы оценки горючести полимерных композиций, показателей пожарной безопасности кабелей.

Показаны результаты экспериментальных исследований образцов кабелей по оценке нераспространения горения, оптической плотности дыма при горении и тлении, показателей коррозионной активности продуктов дымо-газовыделения и стойкости к воздействию нормальной и аварийной работы.

Кабельные изделия классифицируются на пять групп, с учетом областей применения и нормированных показателей пожарной безопасности кабелей. Главными показателями, характеризующими поведение кабеля при воздействии огня, являются: нераспространение горения; оптическая плотность дымообразования; коррозионная активность продуктов газовой выделенной; токсичность продуктов газовой выделенной и огнестойкость [1].

Главной задачей работы заключалась в разработке и испытании разработанных конструкций силовых кабелей, на не распространение горение, огнестойкость, плотность дымо-газовыделения коррозионная активность продуктов газовой выделенной; токсичность продуктов газовой выделенной и огнестойкость. Проведено испытание порядка двадцати основных кабельных конструкций, применяющихся на АЭС. Полученные результаты испытаний применяются для создания огнестойких кабелей и применения их в системах безопасности АЭС.

Литература

1. **Пешков И.Б., Мещанов Г.И., Каменский М.К.** Перспективы промышленного производства в России пожаробезопасных безгалогенных кабелей для АЭС // Кабели и провода: Журнал для производителей и потребителей, № 3–4, 1998.

Чуньюй Суй, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ

Среди многообразия конструкций электрических и оптических кабелей можно выделить значительную группу кабелей с полиэтиленовой наружной оболочкой, к которой предъявляют определенные требования к электрическим параметрам, а именно электрическому сопротивлению [1]. Такими, например, являются кабели, работающие на открытом воздухе и подверженные в процессе длительной эксплуатации трекингу.

Защитные оболочки исследованных в данной работе современных кабелей связи изготовлены из полиэтилена различных производителей и марок, но со сходными электрическими и технологическими характеристиками. Известно, что при нарушении технологии возможно уменьшение толщины оболочки, что неизбежно повлияет на её электрическое сопротивление. Поэтому помимо контроля целостности оболочек, необходимо оснащать экструзионные линии, на которых накладывают защитные оболочки, системами контроля толщины покрытия и эксцентриситета. Такие устройства дают возможность обеспечить сплошной контроль качества оболочек [2].

В ходе данного исследования проведены измерения электрического сопротивления защитной оболочки оптического кабеля марки ОГД-4х4Е-7. Получены зависимости этого сопротивления от толщины оболочки при использовании для изготовления оболочки нескольких марок полиэтилена отечественного марок Ставролен F 3802В, Казаньоргсинтез 153-10К, зарубежного производства марок Dow DGDR-6800 ВК, Borealis Borstar HE 6062 и другие. Из этих зависимостей видно, что электрическое сопротивление оболочек одинаковой толщины, изготовленных из аналогичных марок полиэтилена разных поставщиков, может отличаться более чем в 3 раза.

Литература

1. **Суй Чуньюй, Боев М.А.** Влияние силанового «сшивания» полиэтиленовой изоляции на реологические свойства и технологию экструзии. Радиотехника, электротехника и энергетика: XXVII Междунар. науч.-техн. конф. Тез. докл. М: НИУ «МЭИ» 2021. — с. 393.
2. **Ван Чаньюй.** Метод испытания сопротивления изоляции кабеля. Electric World, 2010 (1), с. 4–10.

Е.С. Соби́на, студент; рук. А.В. Матасов, асп. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ, НЕЕЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В виду отсутствия общей теоретической модели, способной определять температуры фазового перехода второго рода в диэлектрических материалах, возникают трудности при поиске новых диэлектрических материалов с заданными свойствами, и их регулирование.

В работе впервые на основе [1] получена база данных диэлектрических материалов и их температур фазового перехода второго рода, в состав которой входят: соединения со структурой перовскита, тетрагональных калиево-вольфрамовых бронз, пирохлора, псевдоильменита, комплексные органические соединения и т.д.

К полученной базе данных применены методы предобработки и визуализации: попарное отображение признаков, методы понижения размерности, расчет корреляции Пирсона температур фазового перехода второго рода со всеми признаками в данных, метод отображения значений признаков цветом [2]. Для определения температуры Кюри, Нееля диэлектрических материалов разработаны модели случайного леса, линейной регрессии с применением алгоритмов отбора признаков, разбиением данных на классы.

Разработанные модели определения температур фазового перехода могут быть применены для создания общей теории фазовых переходов диэлектрических материалов, синтеза новых материалов с заданными свойствами.

Литература

1. Научно-технические прогнозы в области синтеза сегнетоматериалов: **Е.Б. Перова, Н.П. Храмеева, Ю.Н. Веневцев, Е.М. Азарова, Э.Т. Гайсинский**. Москва: Научно-исследовательский институт технико-экономических исследований (НИИТЭХИМ), 1975 г.
2. **A. Matasov, V. Krasavina**, Visualization of superconducting materials // SN Appl. 2020. 2:1463, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03260-6>

Г.И. Бадамшин, соиск.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЯ НАЛОЖЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ВСПЕНЕННОГО ФТОРОПЛАСТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАБЕЛЕЙ

Известно, что фторсодержащие полимеры не так просты в переработке на специализированных экструзионных линиях. Данная работа посвящена рассмотрению технологии наложения фторопластовой изоляции из вспениваемого полимера на основе фторэтиленпропилена на экструзионной линии.

Производство кабелей со вспененной фторопластовой изоляцией обеспечивает возможность их эксплуатации при длительно допустимой температуре более чем вдвое превышающей температуру эксплуатации кабелей с изоляцией из обычных алифатических полимеров, например, с полиэтиленовой изоляцией. Вспененная изоляция обладает лучшими электрическими характеристиками, чем сплошная изоляция, особенно это важно для кабелей, передающих электрические сигналы на высокой частоте. Применение вспенивания значительно сокращает объем применяемого материала, что приводит к уменьшению массо-габаритных параметров кабеля.

На кабельное производство поступает специально подготовленная композиция на основе фторэтиленпропилена в виде гранул с введенным в них вспенивающим агентом. Торговое наименование — Chemours FEP. Насыпная плотность — 1,17 г/см³. Индекс текучести расплава полимера — 32,5 г/10 мин. Для наложения изоляции в данной работе использовали экструдер с однозаходным шнеком диаметром 45 мм, соотношением L:D=30:1, степенью сжатия 3–4. Шнек имеет в загрузочной зоне более глубокую нарезку для заполнения гранулами. Далее глубина нарезки шнека уменьшается в зоне сжатия для получения качественного расплава. Шнек оснащен двумя миксерами в зоне стабилизации. Первый в зоне инъекции газа, второй, шестилучевой, на конце шнека, чтобы исключить комкование массы. Для вспенивания использовали осушенный, технически чистый газ — азот. Экструдер имел зазор между гребнем шнека и внутренней поверхностью цилиндра 0,002D.

В данной работе проведены исследования кабеля СК КФФ, выпускаемого по ФЖТК.357400.084ТУ, в конструкции которого изоляция выполнена из вспененного фторопласта и получена по вышеописанной технологии. Основные требования к характеристикам исследованной марки кабеля изложены в стандарте ECSS E-50-12A «Space Wire» и соответствуют требованиям, предъявляемым к кабелям для использования в бортовой сети высокоскоростной передачи данных в космических аппаратах.

Г.Ю. Круган, студент; рук. Д.С. Холодный, к.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФFUЗИИ СОСТАВНОЙ ПЛАСТИНЫ

Диффузионные процессы [1] с участием двух гетерогенных тел находят широкое применение при изготовлении микроэлектронных структур. В данной работе изучается диффузия примеси в полупроводник сквозь слой окисла или диэлектрика, и диффузия примесей в полупроводник из этих слоев. Особенностью таких диффузионных процессов является различие в коэффициентах диффузии составных гетерогенных тел и наличие коэффициента сегрегации. [2]

Изучаются методы нахождения распределения концентрации примесей в системе оксид кремния — кремний, представляющую модель составной пластины. На поверхности полупроводника расположен гетерогенный слой толщиной x_0 . Из этого слоя как из источника ограниченной мощности осуществляется диффузия. Коэффициенты диффузии в гетерогенном слое и полупроводнике различны и равны соответственно D_{SiO_2} и D_{Si} . [3]

Распределение концентрации примеси в такой структуре, описывается решением системы диффузионных уравнений в частных производных параболического типа с постоянными коэффициентами в общем случае с граничными условиями третьего рода на внешних поверхностях составной пластины. Граничным условием также является постоянство концентрации примеси на границе раздела двух сред с учетом коэффициента сегрегации: $C_{SiO_2} = kC_{Si}$ при $x = x_0$, где k — коэффициент, показывающий в каком соотношении находятся концентрации примеси в средах на границе раздела в любой момент времени $t > 0$. Дополнительным условием на границе раздела двух фаз является равенство диффузионных потоков [4]. Диффузию проводят в сравнительно ограниченном диапазоне температур 1100 — 1300 °С.

Литература

1. Ярославцев А.Б. Химия твердого тела. М.: Научный мир, 2009. — 328 с.
2. Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники. М.: Физматлит, 2011. — 784 с.
3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. — 488 с.
4. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф. Справочник. Линейные уравнения математической физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 576 с.

Н.В. Куриленко, студ.;
рук. А.Г. Корякин, к.т.н., ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ДЛИНЫ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЯХ

Неравномерность распределения избыточной длины (ИД) оптического волокна по длине кабеля снижает устойчивость к внешним воздействиям всей строительной длины кабеля. Контроль равномерного распределения оптического волокна в оптическом модуле и измерение избыточной длины в процессе производства оптического кабеля (ОК), является актуальной задачей, так как ИД напрямую влияет на передаточные характеристики и является источником прироста оптического затухания [1].

Задача работы заключалась в разработке альтернативной методики измерения ИД оптического волокна в ОК. Экспериментальным подтверждением действенности этой методики являются результаты, полученные при помощи предложенной в работе физико-математической модели.

Приводятся рефлектометрические методы измерения ИД оптических волокон в оптических модулях. Проведены измерения длины модульной трубки и оптического волокна коротких образцов после изготовления, что позволяет произвести выборочную оценку ИД. Проанализированы данные изменения длины оптического волокна и оптического модуля при разных климатических воздействиях.

Даны сравнения расчетных значений ряда конструкционных параметров ОК с результатами прямых измерений. На этой основе рассчитаны корреляции их возможных отклонений от оптимального значения с оптическими параметрами (коэффициентом затухания, устойчивостью к диапазону температур и пр.).

Литература

1. **Бурдин В.А., Важаев М.А.** Метод оценивания распределения избыточной длины волокна в оптическом кабеле по результатам рефлектометрических измерений коэффициентов затухания при низких отрицательных температурах // Инфокоммуникационные технологии, Том 12, № 3. — 2014.

Б.В. Гойхман, студ.;
рук. Ф.С. Федоров, к.т.н., с.н.с. (Сколтех, Москва)

ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ДОПИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕМ ОКСИДА ЦИНКА

Контроль химического состава газовой среды, особенно в применении к идентификации атмосферных загрязнителей, определения биомаркеров состояния человека, и даже вирусов [1], связан с дизайном новых сенсоров и газоаналитических систем. Основными требованиями, предъявляемыми к таким системам, являются высокая чувствительность, селективность и стабильность. Хеморезистивные сенсоры на основе оксидов переходных металлов сочетают в себе простой в обработке аналитический сигнал, высокую чувствительность и низкую стоимость, а их электрофизические характеристики определяются во многом методом его синтеза. Эти характеристики могут быть существенно улучшены с помощью допирования, как, например, в случае с оксидом цинка, допированным алюминием (AZO). Однако протоколы синтеза таких материалов более сложные и не всегда показывают хорошую воспроизводимость по составу и морфологии. В данной работе исследованы сенсорные свойства AZO, полученного методом программируемого соосаждения, по отношению к спиртам гомологического ряда C1–C5.

Синтез AZO проводился с использованием раствора $Zn(NO_3)_2$ и $Al(NO_3)_3$, $C(общ.) = 0,3$ моль/л, к которому добавлялся 5% NH_4OH до достижения $pH=8$. Структура и состав полученного материала изучены методами рентгенофазового анализа, растровой и просвечивающей микроскопии, времяпролетной масс-спектрометрией вторичных ионов.

Согласно результатам, метод программируемого соосаждения позволяет добиться высокой точности таргетируемого состава, $ZnO-1.5\%Al_2O_3$. Чувствительность AZO, $\Delta R/R$, к исследованным анализам (0,9 ppm в смеси с воздухом) достигает 0,8 при 300°C, а предел обнаружения до 50 ppm. Селективное определения молекул спиртов близких гомологов и изомеров достигнуто в рамках мультисенсорного подхода, с использованием методов распознавания образов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10288, <https://rscf.ru/project/21-73-10288/>.

Литература

1. **Kalantar-Zadeh K.** Considering the Effects of Microbiome and Diet on SARS-CoV-2 Infection: Nanotechnology Roles./Kalantar-Zadeh K et al // ACS Nano. 2020. Vol. 14. P. 5179–5182.

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

В.К. Шестаков, асп.; рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА ВОЗДУШНОГО ВИНТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В настоящее время актуальной является задача увеличения топливной эффективности и экологичности летательных аппаратов. Один из путей решения этой задачи связан с заменой маршевых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на электродвигатели (ЭД). На данный момент замена ДВС на ЭД возможна в малой авиации, где мощность двигателя находится в диапазоне от 250 кВт до 1 МВт [1]. Применение ЭД на крупных гражданских самолетах затруднительно, так как мощность авиационных турбовентиляторных двигателей достигает 20 МВт. Для достижения такой мощности нужно использовать большое количество ЭД мощностью от 1 МВт, что влечёт сильные изменения в системе электроснабжения самолета.

Целью работы является разработка и исследование ЭД, предназначенного для использования в приводе воздушного винта самолета.

Наиболее предпочтительным для использования является вентильный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Этот двигатель позволяет обеспечить высокую надежность и ресурс. Для разрабатываемой машины была выбрана мощность ЭД 500 кВт, что позволяет обеспечить необходимую тягу для полета. Электропривод воздушного винта состоит из нескольких ЭД работающих параллельно, такое решение позволяет повысить надежность. Обмотка статора ЭД сделана 6 фазной, это решение позволяет повысить надежность, отключение одной фазы не приводит к отказу. Выбрана жидкостная система охлаждения машин, что позволило снизить массу обмоток статора.

Проводимые исследования были направлены, в частности, на выбор конструкции ЭД. В результате приведённых расчетов и 2D моделирования была выбрана обращенная конструкция электродвигателя и материалы — сталь статора 49К2ФА и магниты КС25ДЦ-240, позволяющие обеспечить минимальную массу и высокий КПД.

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.

Ю.Ю. Захаров, асп.; рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Кроме передачи электроэнергии на стандартной промышленной частоте 50 Гц существуют системы электроснабжения на повышенной, до 10 кГц включительно, частоте [1]. Электроэнергию повышенной частоты получают путем преобразования электроэнергии стандартной промышленной частоты различными преобразователями — статическими полупроводниковыми или вращающимися электромашинами. Электроэнергия повышенной частоты передается от преобразователей к электроприемникам по сетям повышенной частоты, отличающимися от электрической сети стандартной промышленной частоты. В сетях повышенной частоты возможно использовать коаксиальную воздушную линию электропередачи (КВЛ). В электромагнитном поле повышенной частоты КВЛ характеризуется четырьмя первичными параметрами: 1) сопротивлением R_0 ; 2) индуктивностью L_0 ; 3) емкостью C_0 ; 4) проводимостью изоляции G_0 . Схема замещения КВЛ изображена на (рис. 1).

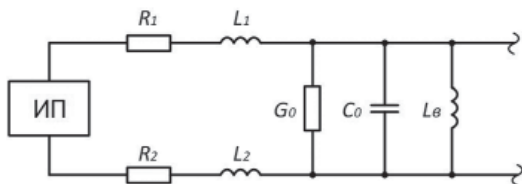


Рис. 1. Схема замещение КВЛ

провод-земля коаксиальной воздушной линии от эквипотенциальной поверхности поля земли. Разработанную методику расчета можно использовать для предварительного анализа первичных параметров коаксиальной воздушной линии, подключаемой к источнику питания повышенной частоты.

В данной работе приведены результаты исследований по методике расчета первичных параметров коаксиальной воздушной линии в электромагнитном поле повышенной частоты для электроснабжения потребителей малой мощности. Приведен расчет зависимости емкости системы

Литература

1. Львов А.П. Электрические сети повышенной частоты. М.: Энергоиздат, 1981.

К.П. Оленин, студ., рук. А.Н. Соломин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЯГОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Среди мобильных средств различного назначения заметное место занимают средства с тяговыми электромеханическими системами, у которых создание движения осуществляется за счет работы электродвигателей. К гибридным силовым установкам такого типа относят системы, в которых тяга создается за счет работы двух двигателей — ДВС и электродвигателя. В состав таких систем, как правило, входит тяговый генератор. Поскольку качества этого электромеханического преобразователя определяют и качества всей системы в целом, его исследовательские расчеты, выполняемые в процессе проектирования, являются задачей актуальной.

В качестве объекта проводимых исследований был выбран вентильный генератор, выполняемый на базе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов.

Целью исследования являлось выявление влияния выбранных параметров на показатели генератора, важные с точки зрения рассмотренной области применения, и определение, тем самым, оптимального варианта в исследованном диапазоне изменения этих параметров.

В качестве варьируемых параметров были выбраны геометрические данные магнитопровода генератора, в частности, соотношение длины и диаметра ротора, угол расположения магнитов, ширина зубца статора, высота магнита. Критериями эффективности, определяющими наилучший вариант, были заданы КПД и масса машины. Условиями сравнения являлись обеспечение заданной номинальной мощности и постоянство коэффициента заполнения паза статора.

В расчетах использовалась разработанная ранее на кафедре ЭКАО и ЭТ НИУ «МЭИ» программа, реализующая математическую модель электромагнитных процессов, основанную на методе эквивалентных схем замещения электрической и магнитной цепи, основы которой изложены в [1].

Были разработаны алгоритм оптимизационного расчета и подпрограмма, формирующая комплекс исходных данных и являющаяся надстройкой к основной программе.

Полученные результаты позволили решить поставленную задачу и могут быть использованы для уточнения методики проектного расчета.

Литература

1. **Русаков А.М., Окунеева Н.А., Соломин А.Н., Шатова И.В.** Математическая модель электромагнитных процессов в вентильных двигателях // Вестник МЭИ, 2007. — № 3. с. 33–39.

А.С. Лискин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С МАССИВНЫМИ РОТОРАМИ

Гистерезисный электропривод [1] традиционно применяется в устройствах и системах ориентации, стабилизации, навигации, управления летательных аппаратов [2], в технологических линиях по получению чистых и сверхчистых веществ, в машинах по выпуску химических волокон и нитей. Во многом это обусловлено простотой, механической прочностью и стабильностью конструкции ротора гистерезисного электродвигателя, который может быть выполнен в виде одной детали — массивного (монокристаллического) цилиндра. Для электроприводов высокоточных приборов, для которых требуется высокая точность размещения центра масс, прочность и стабильность всей конструкции используются гистерезисные электродвигатели с массивными роторами и массивными статорами. При их проектировании особо важен строгий учёт вихревых токов в магнитных материалах.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина». В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- проведён анализ структур гистерезисных электроприводов с электродвигателями с массивными роторами, физических процессов в них;
- выбран оптимальный подход к расчётам и моделированию гистерезисного электропривода с электродвигателями с массивными роторами;
- проведён анализ и обобщение опытных данных о проявлении вихревых токов в массивных магнитных материалах для гистерезисных электродвигателей, в том числе при перемагничивании по частным циклам.

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., 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.

И.А. Федоров, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМОГО ГИРОСКОПА

В настоящее время одним из гироскопов, обеспечивающих высокую и сверхвысокую точность, является динамически настраиваемый вибрационный гироскоп (ДНГ) [1], для которого традиционно используется прецизионный гистерезисный электропривод [2]. Внутренний вращающийся упругий карданов подвес ДНГ, обладающий в условиях динамической настройки практически нулевой угловой жёсткостью, обеспечивает ему две степени свободы углового движения маховика ротора относительно вала и кинематическую связь с электродвигателем, приводящим во вращение ротор гироскопа. Это позволяет получать очень компактные гироприборы, которые применяются, в частности, в качестве чувствительных элементов гиростабилизаторов и гироскопических измерителей угловой скорости для ракет-носителей, разгонных блоков и орбитальных модулей космических аппаратов, авиационных навигационных систем, крылатых ракет, реактивных снарядов точного наведения, инклинометров и т. п.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина». В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- выполнен проектный электромеханический расчёт прецизионного гистерезисного электродвигателя для управляемого электропривода ДНГ;
- выполнен расчёт и моделирование статического преобразователя частоты и напряжения, обеспечивающего электропитание системы;
- исследованы зависимости рабочих показателей приводного электродвигателя в синхронном режиме без управления и с управлением.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также долгосрочными прогнозами развития систем управления и автономной навигации атмосферных и космических летательных аппаратов [1].

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. **Пешехонов В.Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1 (72). С. 3–16.
2. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.

Н.С. Зубарев, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ УПРАВЛЯЕМОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Гистерезисный электропривод традиционно применяется в гироскопии, гравиметрии, инклинометрии, хронометрии, а также в атомной, химической, текстильной и смежных отраслях промышленности [1]. Одним из основных направлений совершенствования гистерезисного электропривода является развитие методов и средств управления им. Это важно, в частности, и для однодвигательного электропривода приборов, и для многодвигательного электропривода гиростабилизированных платформ, технологических линий атомной и химической отраслей, машин текстильной отрасли. В этих отраслях оптимален многодвигательный индивидуальный гистерезисный электропривод в режиме электрического синхронного вала. В таком электроприводе один преобразователь электроэнергии и одна система управления обеспечивают работу группы электродвигателей, каждый из которых приводит во вращение один рабочий механизм [2].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «Научно-производственный центр автоматика и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина», АО «Научно-исследовательский институт синтетического волокна с экспериментальным заводом» (АО «ВНИИСВ»), г. Тверь. Личный вклад автора состоит в анализе структур однодвигательных и многодвигательных гистерезисных электроприводов с моментами от 0,0001 до 30 Н·м, в математическом и компьютерном моделировании систем электропитания и управления вариантов гистерезисного привода:

- однодвигательного высокоскоростного приборного электропривода;
- многодвигательного высокоскоростного электропривода;
- многодвигательного технологического электропривода;
- многодвигательного производственного электропривода.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также интенсивным межотраслевым переносом электромеханических технологий, происходящим в рамках создания продукции двойного назначения.

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. **Коротеева Л.И.** Технологическое оборудование заводов химических нитей и волокон. М.: Легпромбытиздат, 1999. 400 с.

О.А. Колмакова, асп., рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СОСТАВЕ НАГНЕТАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

В современном мире одними из ключевых параметров при проектировании двигателей автомобилей стали экологичность и экономичность. Технология mild-hybrid позволяет снизить уровень вредных выбросов в окружающую среду. При этом двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является основным мотором автомобиля, а электрическая система имеет сравнительно небольшую мощность (10–20 кВт). ДВС оснащаются системой турбонаддува. В таких структурах появляются проблемы неэффективного использования выхлопных газов, турбоямы. Предложенная модель, сочетающая пассивный наддув и нагнетатель с электрическим приводом, позволяет существенно снизить негативные проявления.

В составе нагнетателя с электрическим приводом используется электрическая машина с частотой вращения 70 000 об/мин. и мощностью 7 кВт. Поскольку исследуемый двигатель не является сверхвысокооборотным, сравнивались синхронные машины с постоянными магнитами (СМПМ) в двухполюсном и четырёхполюсном исполнениях. На первом этапе был проведен расчёт параметров СМПМ [1]. По полученным данным была создана компьютерная модель СМПМ. При одинаковых исходных параметрах КПД СМПМ в двухполюсном варианте оказался выше и составил 93,8%. Несмотря на одинаковые индуктивности по осям, насыщение стали приводит к проявлению реактивного момента в такой машине. По этой причине было проведено исследование влияния фазного угла на основные параметры электрической машины: КПД, момент и мощность.

В ходе исследования был определен оптимальный фазный угол для СМПМ с двумя полюсами [2]. Полученная модель СМПМ обеспечивает требуемый уровень мощности при заданной частоте, имея при этом меньшие массогабаритные параметры. На следующих этапах планируется создать систему управления электрической машиной, работающей в составе системы.

Литература

1. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока // М.: Высшая школа, 1982. — 272 с.
2. **Dr. Duane Hanselman.** Brushless Permanent Magnet Motor Design Second Edition // Magna Physics Publishing, 2006. — 441 с.

М.Д. Амелин, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМОБИЛЯ

В настоящее время в России и за рубежом исследуются электроприводы для электрического транспорта, в том числе для электромобилей с различными типами тяговых электродвигателей [1]. Принципиальная особенность тягового электродвигателя состоит в том, что у него зависимость момента от частоты вращения должна быть гиперболической. Чтобы её получить, необходимо по мере роста частоты вращения снижать магнитный поток возбуждения. Гистерезисный электродвигатель [2] при управлении его возбуждением, благодаря присущей ему совокупности достоинств позволяет устранить недостатки, имеющиеся у других типов электродвигателей. В варианте с управляемым гистерезисным электродвигателем, как и в случае с асинхронным электродвигателем, есть возможность регулировать и ток якоря, и магнитный поток возбуждения. После достижения требуемой частоты вращения ротора можно импульсами, подаваемыми непосредственно по электрическим цепям статора электродвигателя, установить необходимую намагниченность ротора и степень возбуждения.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Государственного научного центра Российской Федерации ФГУП «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»). Личный вклад автора состоит в следующем:

- выполнен проектный электромагнитный расчёт тягового гистерезисного электродвигателя для электропривода колёс автомобиля;
- выполнен расчёт и моделирование инвертора, обеспечивающего электропитание гистерезисного электродвигателя и управление им;
- получены зависимости рабочих показателей тягового гистерезисного электродвигателя в режимах с управлением возбуждением.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций России, в том числе ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», а также зарубежных фирм.

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. **Щербаков В.Г. и др.;** под редакцией Щербакова В.Г., Петрушина А.Д. Тяговые электрические машины: учебник. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. 641 с.
2. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.

Т.С. Латыпов, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРЕЦИЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ 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], 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, ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина». 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:

- проведён анализ структур и элементной базы электроприводов для прецизионных технологических систем, физических процессов в них и в их основных элементах, методов и средств управления электроприводами;
- сформирована математическая и программно-алгоритмическая база для математического моделирования и расчётно-теоретических исследований гистерезисных электроприводов и их основных элементов;
- проведён анализ и обобщение опытных данных о влиянии термической и терромагнитной обработки материалов роторов гистерезисных электродвигателей на магнитные и гистерезисные свойства роторов.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также интенсивным межотраслевым переносом электромеханических технологий, происходящим в рамках создания продукции двойного назначения. В соответствие с этим переносом 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_a, № 20-08-01106_a.

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.

А.А. Антаненков, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР И ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБЪЕКТОВ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

Гистерезисный электропривод [1] является основным типом привода объектов точной механики, в частности, систем управления и автономной навигации летательных аппаратов различных классов [2]. Базовыми элементами указанных систем являются гироскопы, в частности, с электроприводом и механическим носителем кинетического момента или электромеханические гироскопы. В настоящее время также разрабатываются и используются гироскопы, основанные на других физических принципах: микромеханические, волоконно-оптические и др. Однако долгосрочные прогнозы показывают, что электромеханические гироскопы, наряду с ними, будут продолжать успешно применяться в обозримой перспективе [2].

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина». В нём выполняется научно-исследовательская работа, рассматриваемая в докладе. Личный вклад автора состоит в следующем:

- выполнен анализ структур и элементной базы электроприводов объектов точной механики, процессов в них и в их основных элементах;
- проведено совершенствование методологии расчётов электромагнитных процессов в гистерезисных электродвигателях и электроприводах с учётом требований, обусловленных объектами точной механики;
- выполнен анализ и обобщение опытных данных об основных и частных циклах перемагничивания и гистерезиса магнитных материалов для роторов базовых вариантов гистерезисных электродвигателей.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, а также сочетанием фундаментального и прикладного характера результатов. Фундаментальный характер связан с исследованием электромагнитных процессов и электромеханического преобразования энергии, 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.

В.Д. Кутков, студ.; И.В. Станкевич, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОЙ АРХИТЕКТУРЫ KNO DL

Автономным объектам нередко приходится работать в нестандартных эксплуатационных условиях, при которых к системе управления (СУ) электрооборудования предъявляются особые требования по точности и быстродействию. Этим требованиям сможет отвечать СУ электрооборудования на базе программной архитектуры KnoDL. Подобная система способна организовать совместную работу множества различных электромеханических систем, реализуя схему «предиктор-корректор», которая является безальтернативной для ряда инженерных задач [1,2]. Реализация данной схемы осуществляется за счет набора статистических данных, описывающих предполагаемые условия эксплуатации электрооборудования автономного объекта [1]. Эти данные собираются в динамическую базу данных, являющуюся элементом механизма системной обработки информации. Данный механизм выступает основой интеллектуальных СУ, позволяя им обучаться и корректно осуществлять управление в сложных условиях [1]. Главным выгодным отличием архитектуры KnoDL от других интеллектуальных систем управления является возможность работать с данными разного формата с должным быстродействием без посторонних программных модулей. Построение системы управления на базе KnoDL осуществляется следующим образом: отдельно вынесено ядро архитектуры, которое взаимодействует с несколькими ЭМС при помощи цифровых каналов связи через шину. Ядро в данной цепочке скрывает в себе механизм обработки информации, которые собраны в отдельные базы данных, а также основную логику работы, которая варьируется в зависимости от специфики технического задания. Ядро системы способно разворачиваться локально на вычислительных мощностях объекта. Авторы ведут разработку подобной системы управления для применения на автономных объектах морского базирования в НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Васильев В.И., Ильясов Б.Г.** Интеллектуальные системы управления, Теории и практика. М.: Издательство «Радиотехника», 2008.
2. **Анучин А.С.** Системы управления Электроприводов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

А.А. Прусаков, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ КОМПРЕССОРА АВТОМОБИЛЯ

В настоящее время одним из наиболее эффективных способов увеличения мощности двигателя автомобиля является компрессор [1]. Его принцип работы основан на использовании энергии отработанных газов. Однако он имеет ряд недостатков: работа в небольшом диапазоне оборотов, а также наличие «турбоямы». Многие эти проблемы можно решить, используя гистерезисный электродвигатель [2] для привода компрессора, поскольку достоинства этого электродвигателя обеспечивают предъявляемые требования. Регулирование гистерезисного электродвигателя в электроприводе осуществляется с помощью полупроводниковых приборов и возможно как по частоте и напряжению, так и по намагниченности ротора. Способность гистерезисного материала ротора к перемагничиванию полем обмотки статора обеспечивает гистерезисный электродвигатель возможностью самозапуска и входа в синхронизм при любом моменте инерции.

Новизна проведённых исследований подтверждается направлениями работ ведущих профильных организаций, в частности, Государственного научного центра Российской Федерации ФГУП «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»). Личный вклад автора состоит в следующем:

- выполнен проектный электромагнитный расчёт гистерезисного электродвигателя для электропривода компрессора автомобиля;
- выполнен расчёт и моделирование управляемого инвертора, обеспечивающего электропитание гистерезисного электродвигателя, а также моделирование системы управления электродвигателем в электроприводе;
- проанализированы зависимости рабочих показателей приводного электродвигателя в основных режимах без управления и с управлением.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены направлениями исследований ведущих профильных организаций, в том числе ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», а также тенденциями эффективного увеличения мощности двигателя автомобиля с помощью компрессора [1].

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. **Сонкин В.И.** Проблемы бензинового двигателя с высоким наддувом: турбо лаг. // Труды НАМИ. 2020. № 1 (280). С. 67–77.
2. **Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмелёва Г.А.** Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: МЭИ, 1991. 128 с.

В.В. Борькин, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ АККУМУЛЯТОРНЫХ СБОРОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Аккумулятор — это многоразовый источник энергии. Аккумуляторные батареи используют в транспорте, в бытовой технике и электронике. Данные факты позволяют нам сделать вывод, что аккумуляторы имеют широкое применение.

Во время долгой эксплуатации аккумуляторных батарей можно заметить, что такая батарея начинает разряжаться быстрее, если её температура не соответствует 20–22°C [1–2]. Эта проблема возникает из-за того, что колебания в температуре существенно влияют на электрохимические реакции, которые постоянно протекают в батареях. Холод замедляет электротехнические реакции, в результате чего внутренне сопротивление батареи увеличивается. Увеличение внутреннего сопротивления аккумулятора может приводить к тому, что он не сможет передавать необходимое количество тока устройству. В жару в аккумуляторе ускоряются электрохимические реакции, начинает испаряться электролит, кислород взаимодействует со свинцовыми пластинами батареи. Это приводит к износу и «старению» аккумулятора. Также при высокой температуре у неиспользуемых аккумуляторных батарей ускоряется процесс саморазряда. Решить эти проблемы можно различными теплоотводами или источниками тепла. Примерами таких систем могут служить радиаторные решётки, резистивные нагреватели и кулеры.

В работе проводится моделирование в программном обеспечении COMSOL Multiphysics аккумуляторных сборок, исследование их тепловых состояний в различных режимах работы и анализ различных 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

Е.Д. Щеглов; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ЗАТВОРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В УСИЛИТЕЛЕ МОЩНОСТИ

В настоящее время повышается внимание к полевым транзисторам в силовых устройствах аппаратуры регулирования и контроля систем электроснабжения космических аппаратов. Полевые транзисторы по сравнению с биполярными транзисторами имеют высокое быстродействие, высокую температурную стабильность и малое потребление мощности.

В связи с переходом на полевые транзисторы возникли проблемы с быстродействующим аварийным отключением их затвора от цепи управления. Как и для биполярных транзисторов было принято решение создать специальный резистор, который состоит из резистора 100 кОм и манганиновой проволоки, намотанной на этот резистор. Сопротивление манганиновой проволоки составляет 14 Ом. Проволока исполняет роль как затворного резистора, так и отключающего устройства.

При использовании биполярных транзисторов в подобных силовых схемах, они подключались параллельно друг другу. И в случае пробоя коллектор-база не возникало проблем с отключением базы транзистора от цепей управления путем выгорания манганиновой проволоки. В случае пробоя база-эмиттер отключение транзистора не имело смысла ввиду выделения на этом транзисторе очень небольшой мощности, которая никоим образом не несла нагрузку, как на силовой блок, так и на блок управления.

При использовании полевых транзисторов стали применять, как поэлементное, так и поканальное резервирование [1]. То есть транзисторы устанавливались и последовательно, и параллельно. Такой способ резервирования исключает влияние пробоя сток-затвор одного транзистора в стойке на силовой блок и на блок управления. В случае пробоя затвор-исток на транзисторе выделяется большая мощность, и его необходимо отключить. Но этой мощности недостаточно для выгорания манганиновой проволоки.

Исходя из опытов, было принято решение увеличить выделяемую мощность на манганиновой проволоке путем уменьшения сопротивления проволоки до 10 Ом. При этих условиях влияние на систему управления усилителем минимально и происходит отключение транзистора.

Литература

1. **Пономарев И.Г.** Исследование некоторых методов повышения надежности транзисторных преобразователей и способов их реализации: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.13.05 / АН УССР. Ин-т электродинамики. — Киев: [б. и.], 1976. — 22 с.: ил.

Д.С. Курилов, В. Куюжуклу, студ.;
рук. А.В. Бериллов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛАБОРАТОРНАЯ ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ТИПА ПЕРЕМЕННАЯ СКОРОСТЬ — ПОСТОЯННАЯ ЧАСТОТА

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой разных типов статических преобразователей для генераторной установки на базе асинхронной машины с фазным ротором. Электромашинная часть установки представляет собой, соединенные с помощью муфт между собой по валу, две трехфазные асинхронные машины с короткозамкнутым ротором (АМКР) и с фазным ротором (АМФР), а также, одну шестифазную синхронную машину (СМ) с электромагнитным возбуждением.

АМКР с промышленным частотным преобразователем выполняет роль привода генераторной части на базе АМФР и СМ. Разрабатываемые статические преобразователи включаются на фазные обмотки ротора АМФР, обмотки статора СМ и ее обмотку возбуждения. Выходное трехфазное напряжение генераторной установки формируется на статорных обмотках АМФР. Стабилизация генерируемой электрической энергии по частоте в таких генераторных установках достигается за счёт стабилизации частоты вращения электромагнитного поля АМФР относительно статора при переменной частоте вращения вала. Стабилизация генерируемой электрической энергии по напряжению реализуется за счёт регулирования с помощью статических преобразователей тока в обмотках ротора АМФР.

Авторами рассматриваются обратимый преобразователь частоты со звеном постоянного тока, непосредственный преобразователь частоты и регулятор постоянного тока. Отличительными чертами непосредственного преобразователя частоты являются более простые алгоритмы управления и гораздо более низкая частота коммутаций ключей, нежели в преобразователях со звеном постоянного тока. Отсутствие готовых решений указанных преобразователей, с учетом малой мощности лабораторной установки, делает актуальным их разработку. В рамках работы, в настоящее время, ведется разработка компьютерных моделей, схемотехнических решений, проектирование печатных плат силовой части указанных преобразователей, а также разработка программного обеспечения для микроконтроллерных систем управления статических преобразователей. Далее, планируется сборка и отладка статических преобразователей, затем, проведение лабораторных исследований на генераторной установке.

Со Не Не Хеин, асп.; рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДВУХКАНАЛЬНОГО И ТРЕХКАНАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

В докладе рассматривается относительно новый класс трансформаторно-выпрямительных устройств (ТВУ), характеризующийся использованием не одного, а нескольких (M) трансформаторов при том же числе выпрямительных мостов (ВМ). При этом первичные (или вторичные) обмотки всех трансформаторов выполняются с одинаковой топологией, а вторичные (или первичные) — с разной топологией, такая структура должна обеспечить фазовый сдвиг между фазными напряжениями каналов на угол $\delta = \pi/3M$ [1]. В работе исследованы и сопоставлены двухканальное ТВУ-12(П) и трехканальное ТВУ-18(П). На рис. 1 представлены структурные схемы двух устройств. Основным методом исследования является имитационно-компьютерное моделирование в программном пакете *Orcad Pspice*.

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, что при увеличении числа M с 2 до 3 и, соответственно, переходе от ТВУ-12(П) к ТВУ-18(П) искажения потребляемого из сети тока уменьшаются в 1,5 раза, качество выходного выпрямленного напряжения улучшается в 2,3 раза, при этом габаритная мощность всего устройства незначительно увеличивается из-за худшего использования обмоток с топологией «прямой зигзаг» и «обратной зигзаг». Этот недостаток менее значим, чем полученные преимущества.

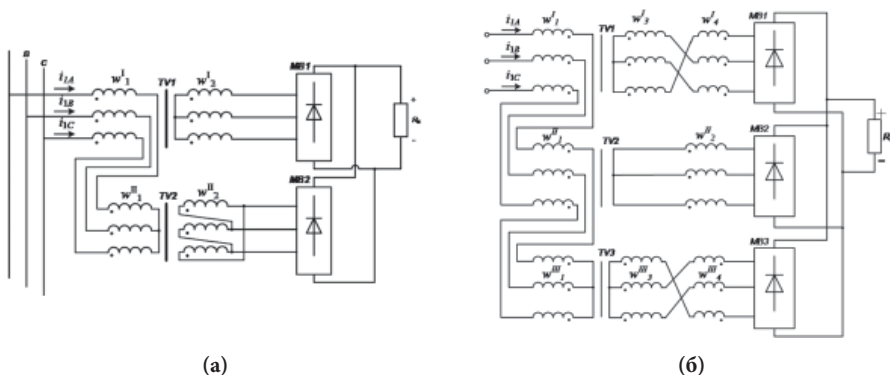


Рис. 1. Структурные схемы (а) ТВУ-12(П), (б) ТВУ-18(П)

Литература

1. Мызык Г.С., Сизякин А.В., Со Не Не Хеин, Тин Аунг Зо. Особенности физических процессов в трансформаторно-выпрямительных устройствах с многоканальным преобразующим трактом. Электричество. 2019, № 11. — С.12÷22.

*А.С. Цыганков, студ.;
рук. И.В. Горбачёв, к.т.н., доц. (УлГТУ, Ульяновск)*

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ С ФУНКЦИЕЙ ЗАПИСИ СОБЫТИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА КОМПЛЕКТУЮЩИХ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Использование модульных устройств сигнализации в последнее время играют важную роль в безопасности на предприятиях на территории Российской Федерации. Однако повсеместно используются устройства зарубежного производства. Модульное устройство сигнализации на комплектующих российского производства разрабатывается с целью использования на предприятиях, которым требуется такая аппаратура. В нем реализованы наиболее значимые функции для охранной сигнализации, при этом надежность и быстродействие не уступают зарубежным аналогам.

Цель работы — создание модульного устройства охранной сигнализации с возможностью ведения журнала событий в реальном времени на комплектующих российского производства.

В качестве основы для ведущего и ведомых модулей выступает микроконтроллер отечественного производства 1887BE4U производства «Миландр». Основной модуль имеет полный функционал сигнализации: 2 охраняемых контура повышенной защиты, панель управления и индикации, блок записи событий, блок связи с ПК, блок связи с GPS и может работать без дополнительных модулей. Дополнительные модули позволяют расширить количество охраняемых контуров повышенной защиты, расширить хранилище данных, а также брать на себя управление индикацией, тем самым снижая нагрузку на основной модуль.

Постановка и снятие с охраны производится при помощи RFID ключей, что обеспечивает высокую степень защиты. Контур повышенной защиты представляет собой герконовый переключатель с системой контроля контактов, что не позволяет поставить «обманку» или вывести сигнализацию из строя. Память контроллера используется в качестве основного хранилища, что позволяет сэкономить на использовании внешней памяти, при этом один модуль может хранить до 300 событий с точной датой и временем происшествия.

Литература

1. **Голубцов, М.С.** Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному / М.С. Голубцов. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 288 с. — (Серия «Библиотека инженера»).

Секция 24
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ
Electrical and electronic apparatuses

Председатель секции:

д.т.н., профессор Курбатов Павел Александрович

Секретарь секции: Конюшенко Елизавета Владимировна

И.Р. Мищенко, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СОСТАВЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

В настоящее время большая часть коммерческих и бытовых потребителей являются нелинейными, и уровень искажений в низковольтных сетях стал предметом серьезного беспокойства. Наиболее эффективными средствами компенсации высших гармоник тока являются устройства активной фильтрации, которые в основном реализуются на базе транзисторных преобразователей напряжения. Активный фильтр (АФ) подключается параллельно сети

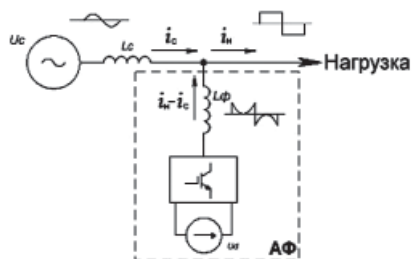


Рис. 1. Схема подключения АФ

в непосредственной близости к потребителю (рис. 1). Уменьшение искажения тока сети происходит за счет формирования таких же гармоник, которые потребляются нагрузкой. В результате гармоники тока замыкаются между АФ и потребителем [1].

Основной задачей при создании АФ является разработка системы управления преобразователем напряжения, в частности — выбор метода модуляции. Наибольшее распространение получили широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и гистерезисное регулирование тока. Достоинством релейного управления является простота реализации при формировании широкого спектра гармоник, что позволяет обеспечить максимальную степень фильтрации. Однако высокая точность регулирования сопряжена с варьированием частоты коммутации транзисторов в широком диапазоне. При использовании ШИМ требуется вычислять каждую гармонику в отдельности, что обеспечивает компенсацию наиболее значимых гармоник. В этом случае частота переключения транзисторов определяется частотой модуляции.

Для детального анализа параметров и характеристик АФ выполнено компьютерное моделирование. На его основе проведена оценка потерь в преобразователе, исследовано влияние индуктивности выходных дросселей преобразователя и параметров управления на диапазон регулирования и гармонические искажения тока. В результате даны рекомендации по использованию рассмотренных методов модуляции.

Литература

1. Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. Силовая электроника: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007 г.

Е.С. Суранова, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР С ГИСТЕРЕЗИСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Основными функциями сетевых регуляторов являются фильтрация высших гармоник тока и компенсация реактивной мощности, которые реализуются при использовании электронного преобразователя.

В рамках системы управления преобразователем в работе рассматриваются методы гистерезисного управления (ГУ) и, для качественного сравнения, широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Проведена оценка искажений тока (рис. 1) регулятора при разных методах управления [1]. В расчетной модели с ГУ добавлена дискретизация, имитирующая задержку по времени выдачи выходного сигнала, как при работе реального микроконтроллера в системе управления.

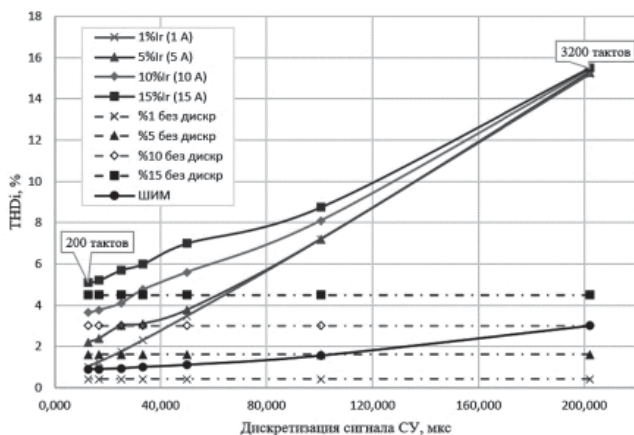


Рис. 1. Гармонические искажения токов в цепи регулятора

На рис. 1. приведен график для нескольких гистерезисных петель разной ширины при номинальном действующем значении тока 100 А. Искажения при ГУ на высоких частотах при малой петле сопоставимы с ШИМ на низких частотах, что дает повод для исследований рациональности применения ГУ как с переменной, так и с постоянной частотой и двухполосного ГУ, позволяющих уменьшить частоту коммутации.

Литература

1. Ю.К. Розанов, М.Г. Лепанов; под ред. Ю.К. Розанова. Силовая электроника: учебник и практикум для академического бакалавриата — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 206 с.

В.Н. Круглов, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СТАТОРОВ МОЩНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Турбогенератор — одна из самых эффективных крупногабаритных машин по преобразованию механической энергии в электрическую. Коэффициент полезного действия больших турбогенераторов близок к 99%. Оставшийся 1% в основном приходится на тепловые потери. Для отвода тепла применяются различные системы охлаждения. Наиболее эффективны жидкостные системы охлаждения, для их оптимизации необходимо построение более точных трехмерных математических моделей с целью получения распределения скорости и давления охлаждающей жидкости в трубках и полых проводниках. Оптимизация позволит добиться равномерного охлаждения по всему объему статора и продлить срок эксплуатации.

Обмотка статора состоит из стержней, которые вставлены в пазы сердечника статора (рис. 1). Эти стержни состоят из набора изолированных сплошных и полых проводников, обеспечивающих поток жидкости для охлаждения. На конце проводники электрически соединены. Полые проводники отводятся в водяную камеру для распределения охлаждающей жидкости [1]. Водяные камеры гидравлически связаны с системой охлаждения с помощью шлангов.

В работе представлены результаты численного моделирования распределения скорости и давления в трубках и полых проводниках гидравлической системы охлаждения статора мощного турбогенератора. Моделирование проводилось при различных конфигурациях охлаждающей системы для её последующей оптимизации.

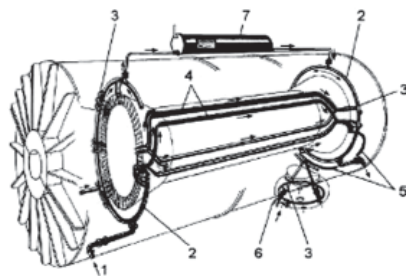


Рис. 1. Схематическое изображение статора турбо-генератора с водяным охлаждением:

1. Вход воды
2. Распределительное кольцо
3. Изолирующие шланги
4. Стержни статора с охлаждением
5. Фазовые соединители
6. Клеммные втулки
7. Расширительный бак

Литература

1. **Robert Svoboda** Corrosion and Deposits in Water-Cooled Generator Stator Windings: Overview of Water Cooling of Generators. // PowerPlant Chemistry, 2018.

Е.А. Зайцев, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

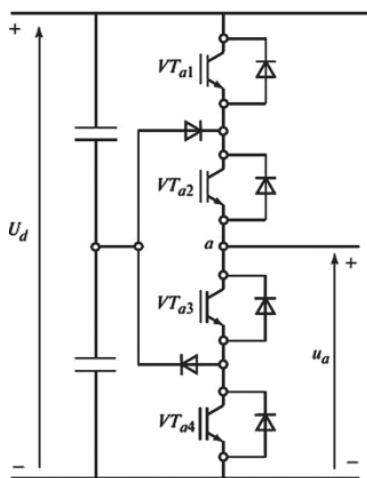


Рис. 1. Трехуровневый инвертор на основе конденсаторов с диодной блокировкой

Исследуется два способа реализации алгоритма управления: на основе теории мгновенной мощности и использования синхронных координат. Посредством компьютерного моделирования выполнен сравнительный анализ алгоритмов и исследованы характеристики активного фильтра.

Система управления активного фильтра обеспечивает формирование высших гармоник тока и реактивной составляющей основной гармоники тока. При этом необходимо поддерживать одинаковый уровень напряжений на конденсаторах. Известно два типа таких преобразователей: схема с емкостным делителем напряжения и блокирующими диодами (рис. 1); многоячейковая схема с «плавающими» конденсаторами. Напряжения на транзисторах в многоуровневом инверторе меньше входного. При этом улучшается качество (гармонический состав) выходного напряжения за счет изменения его уровней в процессе формирования каждого полупериода [1].

Литература

1. Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.Е. Справочник по силовой электронике. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

Е.Л. Новикова, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ И СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Двигатель с катящимся ротором (ДКР) применяется в системах с относительно малой скоростью перемещения рабочих органов исполнительных механизмов [1]. Синхронно с полем вращается ось ротора вокруг оси симметрии статора. Одновременно с угловой скоростью поля минимальный зазор перемещается вдоль рашотки, за счёт этого обеспечивается снижение скорости ротора и увеличение момента, что перспективно для низкоскоростных электромеханических систем.

Машины с постоянными магнитами позволяют уменьшить потери, а также вместо обмотки возбуждения применяет блок постоянных магнитов [2]. Принцип действия основан на взаимодействии токов в обмотке статора с полем постоянных магнитов.

В настоящее время машина с возбуждением от постоянных магнитов традиционно применяется во многих электромеханических системах, однако при низкой скорости вращения машина с катящимся ротором потенциально обладает большей плотностью момента.

Для сравнения выполнено статическое моделирование двух типов машин с одинаковыми габаритами, массой постоянных магнитов и токовой нагрузкой в программном обеспечении Comsol Multiphysics. Для каждого варианта проведена оптимизация геометрии магнитной системы по критерию максимального момента и рассчитан удельный электромагнитный момент.

С помощью полученных результатов моделирования, проведён сравнительный анализ показателей и сделан вывод о выгоде и целесообразности использования каждого из типов электрических машин.

Литература

1. **А.И. Бертинов, В.В. Варлей** «Электрические машины с катящимся ротором», Москва «Энергия», 1969 г.
2. **Д.Э. Брусикин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов** «Электрические машины и микромашины», Москва «Высшая школа», 1990 г.

А.И. Ходаковская, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОУРОВНЕВЫЕ СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ СЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

Использование силовых регуляторов в системах электроснабжения является одним из актуальных направлений на рынке высоковольтной энергетики. Такие устройства применяются в качестве активных фильтров высших гармоник, позволяют регулировать реактивную мощность, а также решают задачи, связанные с проблемами симметричного распределения токов в трёхфазных системах электроснабжения.

При разработке мощных сетевых регуляторов с многоуровневыми схемами преобразователя применяют следующие структуры: каскадное соединение мостовых схем с отдельными источниками постоянного напряжения; схема с диодной блокировкой и др. [1].

Одной из самых простых является схема преобразователя с диодной блокировкой [2]. В сравнении с классической двухуровневой схемой она позволяет снизить номинальное напряжение в два раза, а также улучшить качество выходного напряжения при сниженной частоте коммутации.

Также широкое распространение получила схема H-мостового каскадного многоуровневого преобразователя [1]. Достоинства данной схемы в том, что число уровней напряжений вдвое больше количества источников постоянного напряжения, а одинаковые H-мосты позволяют делать модульную компоновку, что удешевляет и ускоряет производство.

Особенность и главное достоинство многоуровневых инверторов по сравнению с классическими двухуровневыми заключается в том, что ступенчатая форма напряжения позволяет формировать выходное напряжение с меньшими гармоническими искажениями; возможна работа на низких частотах, а соответственно с низкими коммутационными потерями. Однако интересным и важным является вопрос сравнения производительности преобразователя с диодной блокировкой с производительностью H-мостового каскадного преобразователя с точки зрения выполнения функций сетевого регулятора.

Проведено компьютерное моделирование многоуровневых преобразователей сетевых регуляторов, которое показало возможность их применения для повышения качества энергии на высоких и средних уровнях напряжений. Проведена оценка потерь в ключах преобразователя.

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.

Г.И. Мельник, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ ТРЕХУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Одна из основных задач электротехники в области электроснабжения является улучшение качества электроэнергии. Среди потребителей значительную часть занимают различные электронные устройства, что приводит к искажению потребляемого из сети тока и росту реактивной мощности. Решением данной проблемы является применение компенсирующих устройств, выполненных на базе полупроводниковых преобразователей [1].

В работе рассматривается сетевой регулятор для улучшения качества электроэнергии, способный выполнять функции компенсации реактивной мощности, фильтрации высших гармоник и симметрирования токов сети. В качестве преобразователя в составе регулятора используется трехуровневый преобразователь напряжения (рис. 1). Целью работы является исследование харак-

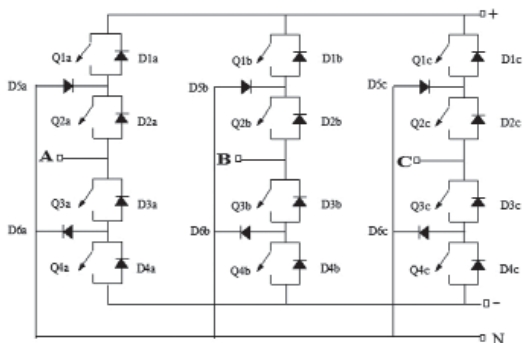


Рис. 1. Схема трехуровневого преобразователя

теристик устройства и сравнительный анализ с регулятором на базе трехфазной мостовой схемы преобразователя. Использование трехуровневой схемы позволяет увеличить частоту модуляционной гармонической составляющей напряжения и тока на выходе преобразователя, что обеспечивает меньшее искажение тока регулятора по сравнению с мостовой схемой преобразователя [2].

Посредством имитационного моделирования двух рассматриваемых регуляторов в программном комплексе Matlab/Simulink выполнен расчет потерь в выбранных транзисторных модулях и исследовано влияние режимов работы и параметров устройства на уровень потерь. Используемая модель для расчета потерь позволяет учесть реальные характеристики полупроводниковых элементов и распределение мгновенных значений токов в транзисторах и диодах, а также оценить отдельно статические и коммутационные потери.

Литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника — М.: Изд. МЭИ, 2018.
2. Розанов Ю.К. Силовая электроника для управления качеством электрической энергии — Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.

Б.Б. Крушинов, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ АВР

Автоматический ввод резерва (АВР) — система, позволяющая включать устройство резервного питания, взамен отключившегося основного. Такие системы широко применяются в электроэнергетике, позволяя осуществлять бесперебойное питание ответственных потребителей. Важность подобной системы сложно переоценить, так как длительный перерыв в электропитании может привести к угрозе жизни и безопасности людей, материальному ущербу и другим, не менее серьёзным последствиям. Для анализа и реализации алгоритмов АВР на программируемых логических контроллерах необходимо создание логических моделей автоматических выключателей, с последующим их применением в различных схемах АВР.

Целью данной работы является создание логических моделей автоматических выключателей для реализации схем автоматического ввода резерва при использовании программируемого логического контроллера.

В ходе работы разработана логическая модель автоматического выключателя Еmax (воздушный автоматический выключатель с корпусом из листовой стали производства компании ABB) [1]. На базе разработанной модели создана модель выключателя в среде Matlab Stateflow (графический язык, который включает диаграммы переходов состояний, блок-схемы, таблицы переходов состояний и таблицы истинности).

При использовании Stateflow модели автоматического выключателя были созданы Matlab модели устройства автоматического ввода резерва, работающие по схемам 2-в-2, 3-в-2, 4-в-2.

На основе Stateflow модели был разработан модуль, используемый при создании программ для ПЛК. Были разработаны программы для реализации различных схем автоматического ввода резерва (2-в-2, 3-в-2, 4-в-2) с использованием ранее разработанных логических моделей автоматических выключателей [2].

Литература

1. **Брауэр В.** Введение в теорию конечных автоматов — М.: Радио и связь, 1987. — 392 с.
2. **Евстифеев А.В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. — М.: Издательство дом «Додэка-XXI», 2008. — 560 с.

Д.Е. Шерстов, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЕНСАТОР НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА

Повышение качества электроэнергии является одной из актуальных задач электроэнергетики. Ее решение непосредственно связано с компенсацией неактивной мощности, к которой помимо реактивной мощности относят мощность искажения и мощность несимметрии.

Наиболее эффективным способом компенсации неактивной мощности является использование силовых электронных регуляторов. В работе рассматривается устройство компенсации на основе преобразователя тока с индуктивным накопителем энергии. Регулятор мощности подключается параллельно к трехфазной сети в точке присоединения нагрузки и формирует ток в виде суммы наиболее значимых гармонических и симметричных составляющих на частоте сети (прямую и обратную последовательности тока), а также реактивную составляющую основной гармоники [1]. Таким образом, в случае нелинейной и несбалансированной нагрузки в сети обеспечивается фильтрация высших гармоник тока (режим активного фильтра), симметрирование токов и снижение реактивной мощности, т.е. компенсация всех неактивных составляющих потребляемого тока.

В режиме компенсации неактивной мощности индуктивный накопитель выполняет функцию источника постоянного тока на входе преобразователя. Основное влияние на качество тока, генерируемого компенсатором, оказывает выходной пассивный фильтр преобразователя. Поскольку ток на выходе преобразователя формируется методом высокочастотной широтно-импульсной модуляции, основной задачей выходного фильтра является подавление модуляционных гармоник тока. Посредством моделирования в MatLab/Simulink определена структура и параметры фильтра. Система управления устройства реализована на основе рр-теории мгновенной мощности с использованием векторного представления трехфазных сигналов. Управление мощностью осуществляется за счет обратной связи по токам нагрузки и регулятора. Результаты моделирования подтвердили эффективность используемых алгоритмов управления.

Литература

1. **Gerardo Escobar, Andres A. Valdez, Raymundo E. Torres-Olguin, and Misael F. Martinez-Montejano.** A Model-Based Controller for A Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter With Compensation of the Neutral Line Current // IEEE Transactions on power electronics. November, 2007. Vol. 22. № 6.

Д.С. Фёдоров, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА ПО СХЕМЕ 2К-Н

Редуктор — это механизм, используемый для изменения угловой скорости и крутящего момента с помощью механических передач различных типов [1]. Механические редукторы используются во многих областях промышленности, они являются неотъемлемой частью многих устройств. Существуют несколько основных типов механических редукторов: цилиндрические, конические, червячные и планетарные.

Планетарные редукторы имеют один из самых высоких уровней эффективности и плотности крутящего момента среди других механических передач. Это достигается за счет зацепления в нескольких местах одновременно, а не в одном месте, как в случае цилиндрических и червячных передач [2].

При всей распространенности, механические передачи обладают существенными недостатками, такими как шум, трение и нагрев. Чтобы избежать этого, можно использовать редукторы с постоянными магнитами. В них, за счет силового взаимодействия магнитных полей происходит бесконтактная передача крутящего момента. Одной из самых распространенных схем планетарных редукторов является 2К-Н — два центральных колеса и водило [3].

В данной работе выполнен обзор конструкций редукторов, подробно изучен планетарный магнитный редуктор по схеме 2К-Н [4]. Данный редуктор имеет высокое передаточное отношение. Одним из ключевых факторов улучшения крутящего момента передачи магнитного планетарного редуктора является количество магнитных сателлитов. Создана параметрическая математическая модель с использованием метода конечных элементов. Так же проведено сравнение с другими топологиями магнитных редукторов.

Литература

1. **Анфимов М.И.** Редукторы. Конструкция и расчет: — М., «Машиностроение», изд. 4-е, 1993 г.
2. **Левитан, Ю.В.** Червячные редукторы : справочник / Ю.В. Левитан, В.П. Обморнов, В. И. Васильев / Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ение, 1985 г.
3. **Кудрявцев В.Н. [и др.]** Планетарные передачи: справочник / Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ение, 1977 г.
4. **David G. Dorrell [и др.]** Development of a Magnetic Planetary Gearbox // IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 3, March 2008.

Д.Р. Рубаный, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На сегодняшний день в учебный процесс активно внедряются информационные технологии. Одной из разновидностей являются виртуальные лабораторные работы. Виртуальная лабораторная работа — это программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой [1].

Актуальность данной темы обуславливается тем, что на данный момент в обучении на электротехнических специальностях не хватает виртуальных лабораторных работ. Такие лабораторные работы обладают рядом преимуществ: интерактивность; независимость от лаборатории (можно проводить в любом месте, где есть компьютер); широкие возможности по визуализации физических процессов, недоступные на традиционных лабораторных стендах; возможность выполнять задания удаленно; безопасность проведения.

Существует множество ПО для создания виртуальных лабораторных работ, такие как LabVIEW, STAR, VirtualLab, Algodo, PhET [2]. В данной работе будет использоваться Comsol Multiphysics, так как в нем предусмотрена возможность создания приложения на базе отлаженной модели. Существенным плюсом является то, что для запуска приложения не требуется предустановленного Comsol Multiphysics и подключения к сети Интернет, а также широкие возможности визуализации данного ПО.

Целью лабораторной работы является снятие следующих характеристик: тяговая характеристика электромагнита, определение напряжения и тока срабатывания, напряжения отпускания, время включения и отключения. Особенностью лабораторной работы будет возможность менять геометрию электромагнита и характеристики пружин.

Для решения поставленной задачи в работе выполнен обзор конструкций электромагнитов постоянного тока, создана параметрическая математическая модель, с использованием метода конечных элементов. Также создано приложения для проведения виртуальной лабораторной работы.

Литература

1. **Фалина Е.Ф.** Влияние виртуальных лабораторных работ на качество учебного процесса / Известия ТулГУ Технические науки 2008 г.
2. **Горлушкина Н.Н.** Информационные технологии в образовании / Academia 2003 г.

М.С. Денисов, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО В АВТОНОМНОЙ СЕТИ С АСИНХРОННЫМ ВЕТРОВЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Автономные энергосистемы с использованием местных возобновляемых источников энергии, такие как ветер, биомасса и гидроэнергетика, привлекательны в отдаленной местности. По сравнению с подключением к сети аналогичных источников энергии, они избегают длинных линий электропередач и, таким образом, снижают потери и затраты. Асинхронный генератор (АГ) имеет преимущества в малых и средних энергосистемах по сравнению с другими типами генераторов, такими как индукционный генератор с двойным питанием: низкая стоимость, надежность, меньший объем обслуживания и встроенная защита от перегрузки. Однако, величина и частота генерируемого напряжения зависят от скорости ротора, тока возбуждения и нагрузки [1].

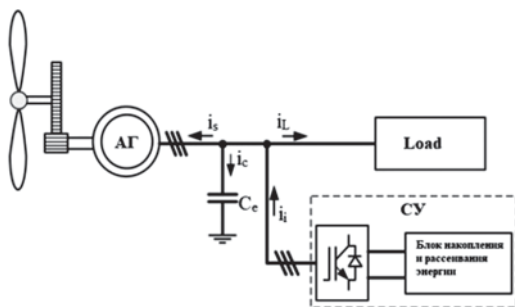


Рис. 1. Блок схема АГ с системой управления

Для ветроэнергетической установки АГ, где скорость ветра и нагрузка потребителей являются переменными, входная мощность и скорость ротора не являются постоянными, что изменяет величину и частоту генерируемого напряжения. В таком случае, инвертор источника напряжения, с параллельно подключенным накопителем энергии на стороне постоянного тока, может использоваться для поглощения или компенсации активной и реактивной мощности, производимой АГ (рис. 1). В результате величина и частота напряжения генератора могут поддерживаться [2].

Проведено компьютерное моделирование автономной сети с АГ, которое показало возможность применения системы управления, основанной на компенсации реактивной мощности. Дана оценка качеству основных показателей электрической сети.

Литература

1. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника. — М.: Издательский дом МЭИ, 2018.
2. **Hua Geng, Dewei Xu, Bin Wu, Wei Huang.** Direct Voltage Control for a Stand Alone Wind-Driven Self-Excited Induction Generator With Improved Power Quality // IEEE Transactions on Industry Applications, 2011.

*Т.А. Золотарев, студ.; Е.А. Кущенко, асп.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ С ВТСП ОБМОТКОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Машины с обмоткой возбуждения из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) обладают более высокими удельными характеристиками в отличие от классических машин, что позволяет создавать более эффективные и компактные конструкции для систем генерации и накопления энергии. Настоящее исследование связано с возможностью применения ВТСП машин в современных кинетических накопителях энергии (КНЭ). В работе изучается униполярная индукторная машина с аксиальным магнитным потоком [1].

Конструкция КНЭ состоит из дискового маховика, внутри которого располагается мотор/генератор, и магнитного подвеса. Благодаря дисковой конструкции ротор электрической машины может быть использован в качестве маховика. Обмотка якоря неподвижна и закрепляется внутри вращающегося маховика. Из-за сложности создания системы охлаждения жидким азотом для вращающихся обмоток рассматривается конструкция ВТСП мотор/генератора индукторного униполярного типа, в которой поле в зазоре не изменяет направление. Преобразование энергии происходит за счет чередования областей с разной магнитной проницаемостью при вращении ротора.

Для моделирования магнитной системы индукторной машины с ВТСП обмоткой возбуждения определялся допустимый ток в сверхпроводящей обмотке, так как ВТСП лента обладает нелинейной зависимостью критического тока от магнитного поля. В результате моделирования машины в программном комплексе EasyMag 3D были получены характеристики ЭДС и электромагнитного момента, по которым можно сделать вывод о том, что рассматриваемая индукторная машина с ВТСП обмоткой возбуждения может быть использована в качестве мотор-генератора в КНЭ.

Литература

1. **Wenlong Li, K.T. Chau, T.W. Chin, Yubin Wang, and Mu Chen**, «Design of a High Speed Superconducting Bearingless Machine for Flywheel Energy Storage Systems» // IEEE Transactions on applied superconductivity, vol. 25, no. 3, June 2015.

П.С. Мурзин, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для корректной работы высоковольтного оборудования требуется его регулярное тестирование для обнаружения возможных дефектов. Для большей информативности, при тестировании, стоит использовать оборудование с возможностью изменения частоты тестового напряжения. Такое оборудование также применяется для проверки изоляции на прочность.

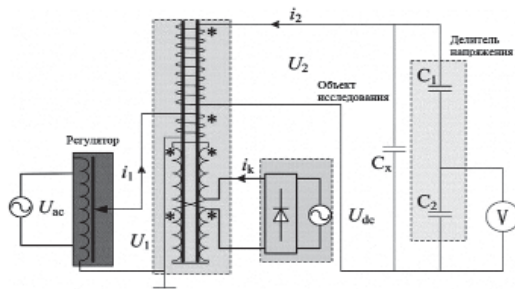


Рис. 1. Схема высоковольтной испытательной установки

только с помощью разрушающих испытаний для проверки правильности изготовления высоковольтной изоляции. Испытания на стойкость к высокому напряжению — одно из наиболее важных испытаний, позволяющее оценить качество изоляции электрооборудования.

В работе проводится расчет и проектирование установки по тестированию высоковольтного оборудования до 30 кВ с возможностью изменять частоту испытательного напряжения. Пример схемы установки изображен на рисунке 1 [1].

Литература

1. **Jiaxin Yuan, Junwei Zhou** A Novel Compact High-Voltage Test System Based on a Magnetically Controlled Resonant Transformer // IEEE transactions on magnetics, vol. 51, NO. 11, Nov. 2015.

К.Е. Новиков, студ.; рук. М.Г. Лепанов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИСТОЧНИК РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ С ИНДУКТИВНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ

Активное развитие и снижение стоимости сверхпроводящих технологий делает индуктивные накопители энергии достаточно перспективными для использования в электроэнергетике. В зависимости от энергоемкости накопители могут выполнять различные функции в системах электроснабжения. Управление мощностью сверхпроводящего индуктивного накопителя (СПИН) осуществляется посредством силового электронного регулятора. В системах большой мощности регулятор целесообразно выполнять в виде многоуровневого преобразователя тока с выходным фильтром для подавления гармоник тока, возникающих при широтно-импульсной модуляции (рис. 1).

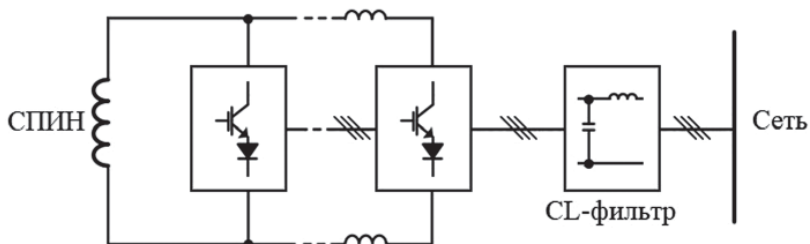


Рис. 1. Структурная схема трехфазного регулятора мощности

Одной из базовых функций СПИН в совокупности с регулятором мощности является его применение в качестве источника резервного питания, обеспечивающего электроснабжение нагрузки, например, при ее кратковременном аварийном отключении от сети [1]. В этом случае регулятор работает в режиме генерирования активной или активно-реактивной мощности, формируя на выходе (в точке подключения нагрузки) требуемое номинальное напряжение в течение небольшого промежутка времени, порядка нескольких секунд, пока в сети присутствует аварийная ситуация.

Для анализа алгоритмов управления, реализующих управление мощностью за счет обратной связи по напряжению, и исследования режимов работы регулятора с заданными параметрами индуктивного накопителя было выполнено моделирование в программе Matlab/Simulink.

Литература

1. X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke. Overview of current development in electrical energy storage technologies // Applied Energy. — 2015. № 137. P. 511–536.

А.С. Князев, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Быстродействующие выключатели постоянного тока (БВПТ) применяются для коммутации токов нагрузок и автоматического отключения их при КЗ и перегрузках для защиты оборудования и персонала [1]. Токи повреждений короткого замыкания постоянного тока наносят разрушительный характер повреждений в считанные секунды, по сравнению с аналогичными параметрами переменного тока.

С возникновением интереса к высоковольтным сетям постоянного тока и ростом возобновляемых источников электроэнергии, а также повышением требований к надежности в существующих сетях, исследование БВПТ является важной задачей.

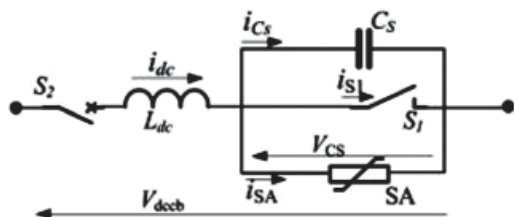


Рис. 1. Схема концепции БВПТ

В работе проведен анализ научной литературы для выявления новых концепций с улучшенными характеристиками выключателя. Самыми распространенными стали «гибридные» выключатели (рис. 1) — совмещающие в себе механическую и полупроводниковую части [2].

В программном комплексе Comsol Multiphysics проведено трехмерное (3D) моделирование выключателя для исследования зависимости быстродействия от изменения входных параметров. В частности, от напряжения катушки и материала сердечника.

Литература

1. **Мурадов Э.Ш.** Автоматические быстродействующие выключатели для троллейбусов: монография. — Екатеринбург: Полиграфист, 2015.
2. **D. Jovsic.** “1200V, 200A Laboratory prototype for LC DC Circuit Breaker”. [Электронный ресурс] // Symposium Aalborg. 2019. 1200V, 200A Laboratory prototype for LC DC Circuit Breaker — The University of Aberdeen Research Portal

А.В. Черемушкина, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

В современном мире электричество — неотъемлемая часть деятельности человека. Оно необходимо в жилых домах и на промышленных предприятиях. Актуален вопрос правильного проектирования электроснабжения.

Цель работы — исследование и сравнение нескольких проектов электроснабжения, в частности, проектов электроосвещения жилых помещений, отличающихся по масштабу и назначению. Особенностью данного исследования является то, что в зависимости от целей эксплуатации помещений предлагаются варианты комбинирования потребителей электричества и оборудования управления.

В настоящее время становится популярна тематика «умного дома». В работе рассмотрены варианты различных способов управления светом. Необходимое оборудование предоставляют ведущие фирмы, специализирующиеся по производству электротехнической продукции, АВВ и Schneider Electric.

Например, в каталогах фирмы АВВ имеется переносной инфракрасный пульт дистанционного управления. Он дает возможность вызвать все функции системы, что позволяет индивидуально переключать и регулировать свет через ИК-приемник, установленный на Busch-Ferncontrol [1]. Для управления светом обе фирмы изготавливают светорегуляторы, которые позволяют плавно увеличивать или уменьшать освещение помещения.

В ходе выполнения работы будет предложено несколько решений систем освещения и сравнения их по разным аспектам, таким как энергосбережение, экономичность, удобство эксплуатации. Также планируется продемонстрировать разработанное мобильное приложение, с помощью которого будет осуществлена возможность управления настольной лампой.

Литература

1. Дистанционное управление. Комфортное управление светом и настроением. // URL: http://blogforconsultants.ru/wp-content/uploads/2015/06/8_Дистанционное-управление_ABB-i-bus*KNX_.pdf (дата обращения: 15.10.2021).

И.П. Шорсткин, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ И СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Проведение лабораторных работ является основным инструментом для закрепления теоретических знаний в технических институтах. В традиционном виде лабораторные работы выполняются студентам в лабораторных классах с использованием лабораторного оборудования. С развитием современных технологий появилась возможность организовать проведение лабораторных работ дистанционно [1]. Такой подход позволит более гибко организовывать учебный процесс, т.к. студент сможет провести лабораторную работу из любой точки мира, если там есть интернет.

Данная работа посвящена расширению функциональных возможностей лабораторного стенда по исследованию характеристики асинхронных и синхронных электродвигателей. За основу был взят стенд, который оснащен шкафом управления, лабораторным компьютером, а также асинхронным и синхронным двигателем. Шкаф управления в свою очередь содержит: программируемый логический контроллер, преобразователь частоты, измерительные приборы, контакторы, реле и автоматические выключатели.

В ходе выполнения работы для данного стенда разработано устройство регулирования тока возбуждения якоря синхронной машины, а также устройство синхронизации синхронной машины с сетью.

Для возможности дистанционного управления стендом через веб-сайт была разработана программа с использованием Matlab Simulink, которая запущена на лабораторном компьютере и предоставляет сайту доступ к стенду через протокол связи web-socket. Также был создан веб-сайт, чтобы предоставить удобный доступ для работы со стендом.

Литература

1. **L. Gomes and S. Bogosyan**, “Current Trends in Remote Laboratories” // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 12, pp. 4744–4756, Dec. 2009.

А.А. Костенко, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА

Подшипники являются одним из узлов, определяющих надежность агрегата. Наличие трения в классических контактных подшипниках вызывает сложности для их применения и существуют области, в которых невозможно их использование. Решением может стать использование магнитных подшипников. Они не требуют периодического обслуживания, могут применяться на высоких скоростях, в вакууме и при низких температурах. Магнитные подшипники делятся на активные и пассивные в зависимости от наличия системы управления.

Одним из видов магнитных подшипников является активный магнитный подвес (АМП). На рис. 1 изображена модель радиального восьмиполюсного электромагнитного подшипника. Основными частями конструкции являются неподвижный магнитопровод с намотанными на его полюса катушками электромагнитов и кольцо из магнитомягкого материала, которое должно жестко закрепляться на валу. Принцип действия АМП состоит в создании управляемого магнитного поля, которое, взаимодействуя с ротором, удерживает его. Токи по катушкам электромагнитов распределяются с помощью системы управления в зависимости от текущего и желаемого положения ротора [1].

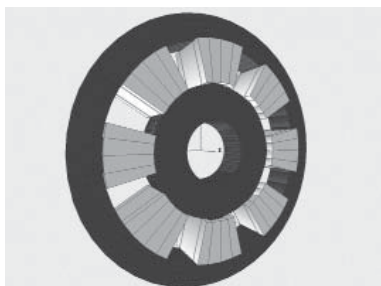


Рис. 1. Конструкция восьмиполюсного активного магнитного подшипника

В работе представлены результаты моделирования вышеописанного подвеса в программе EasyMAG3D. В результате были получены статические силовые характеристики каждого электромагнита подшипника, зависимости силы воздействия электромагнита на ротор от силы тока в его катушке, а также проведен расчет нескольких вариантов распределения токов в катушках для компенсации силы, действующей на ротор.

Литература

1. Щеклеина И.Л., Угольников А.В., Стожков Д.С. «Об активных магнитных подшипниках» // Известия УГГУ. 2016. № 4 (44) с. 76–79.

А.Д. Каплатый, студ.; рук. М.Г. Киселев, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

БЕЗДАТЧИКОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫМ СЕТЕВЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Сетевой регулятор применяется для различных функций, таких как повышение качества электроэнергии, передача активной мощности в звено постоянного тока, генерация активной мощности от источника постоянного напряжения в сеть. В базовой схеме управления регулятором используются датчики напряжения сети, на основе которых вычисляются активные и неактивные составляющие сигнала, а также опорное напряжения для подачи на широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Однако, существует метод управления без датчиков напряжения, который основан на вычислении напряжения сети исходя из токов дросселя регулятора. В ряде случаев данные о напряжении труднодоступны, например, при подключении регулятора к линейному генератору с высоким значением индуктивности. В связи с этим исследование данного метода управления является актуальным.

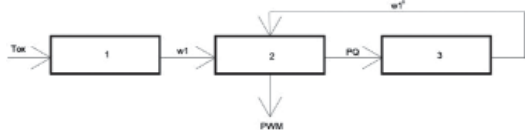


Рис. 1. Блок-схема системы управления

В предложенном методе управление переключателями осуществляется путем введения дополнительных блоков управления системой (рис. 1) [1]. Задача данных блоков с помощью мгновенного значения активного и реактивного тока управление частотой ШИМ на основе баланса мощности между источником питания переменного тока и нагрузкой постоянного тока. Блок № 1 — получение реактивного тока и определение разницы фаз тока и напряжения. Блок № 2 — при малом значении угла рассчитывает и передает импульсы управления на ключи. Блок № 3 — при значительной разнице фаз происходит процесс компенсации данного показателя и передача информации в блок № 2.

Рассматриваемый метод промоделирован в среде Matlab/Simulink. При исследовании экспериментальных данных установлено ухудшение показателя гармонического искажения и уменьшения быстродействия системы по сравнению с традиционным методом управления.

Литература

1. Tokuo Ohnishi and Kentarou Fujii. Line Voltage Sensorless Three Phase PWM Converter by Tracking Control of Operating Frequency // IEEE PCC. 6-6 Aug. 1997.

*Е.Д. Зенько, студ.; Е.В. Конюшенко, асп.;
рук. О.Н. Молоканов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕДУКТОРА

В настоящее время большим потенциалом для развития обладают возобновляемые источники энергии. В их число входят такие источники электроэнергии как ветроэлектростанции и малые гидроэлектростанции. Для передачи крутящего момента в подобных установках активно используются механические мультипликаторы. Однако подобные передачи обладают большим количеством недостатков, среди которых можно выделить невысокую надёжность, трение, вызывающее перегрев деталей, необходимость регламентного обслуживания, смазывания деталей конструкции. Также во время работы механический редуктор вызывает большие вибрации, шум. Актуальным решением этих проблем может стать замена механических передач их магнитными аналогами.

В последние годы идёт активная работа над разработкой различных видов магнитных передач. Самой распространённой топологией является коаксиальная из-за своей простоты и хороших технических данных [1].

В магнитной передаче зубчатое зацепление заменено постоянными магнитами, а вращение роторов происходит благодаря взаимодействию магнитных полей роторов устройства. Посредством добавления трёхфазной обмотки в пазы статора стало возможным управление передаточным отношением магнитной передачи [2]. Управляемая магнитная передача мало изучена, что стало причиной выбора темы исследования.

В работе произведено моделирование управляемого электромагнитного редуктора мощностью 1575 Вт, выполненного на основе коаксиальной топологии. Максимальный момент 250 Н·м при частоте вращения 60 об/мин. Исследование заключается в построение двухмерной модели редуктора. Произведена оптимизация определённых параметров устройства с целью получения улучшенных характеристик и дальнейшей разработки динамической модели. Также проведена оценка перспективности применения данных устройств.

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. **K. Atallah, J. Wang, S.D. Calverley and S. Duggan.** Design and operation of a magnetic continuously variable transmission // IEEE Trans. on Industry App. — 2012. Vol. 48. No. 4 — pp. 1288–1293.

*Е.А. Павлович, студ.; рук. И.И. Соловьев, к.т.н., доц. конс.
Б.Ф. Кузнецов, асс. (С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТУХАНИЯ ТОКА В ЗАМКНУТОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КАТУШКЕ

Под сверхпроводимостью понимают свойство некоторых твердых материалов при достижении ими температуры ниже определённого значения иметь строго нулевое электрическое сопротивление. Применение сверхпроводников позволяет передавать электрическую энергию от источника питания к электроприемнику без потерь. Это открывает широкие перспективы для использования сверхпроводников в сферах электроснабжения и электротехники.

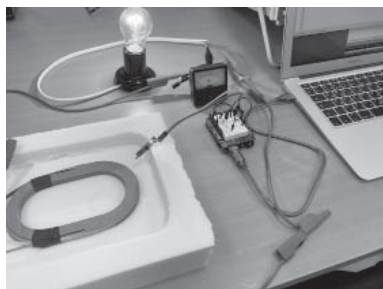


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования процесса затухания тока

С научной и практической точки зрения большой интерес представляет процесс затухания тока в сверхпроводящей замкнутой катушке. В работе в качестве объекта исследования используется катушка с витками из высокотемпературной сверхпроводящей ленты (ВТСП-лента) второго поколения компании «СуперОкс» на основе YBCO.

В идеальной замкнутой сверхпроводящей катушке потери отсутствуют, затухания наведенного тока не происходит. В реальной катушке контакт в месте соединения ВТСП-ленты обладает активным сопротивлением, в котором теряется энергия, и, следовательно, происходит затухание тока. Длительность затухания определяется величиной контактного сопротивления.

Применять для исследований измерительный прибор прямого действия (амперметр), установленный в рассечку контура, невозможно из-за внутреннего сопротивления прибора. Предлагается проводить измерения косвенным методом, при помощи измерительного устройства на основе датчика Холла [1]. Для изучения процесса затухания тока в замкнутой сверхпроводящей катушке разработана и создана экспериментальная установка.

Результатом работы является экспериментальная установка (рис.1) для исследования процесса затухания тока в сверхпроводящей катушке. Получен график изменения тока во времени в сверхпроводящей замкнутой катушке.

Литература

1. **W.S. Lee et al.** Analysis of the Current Charge and Discharge Characteristics of a Small-Scale Turn-to-Turn Soldered HTS Coil // IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 25, no. 3, June 2015.

*А.М. Аверкиев, студ.; рук. И.И. Соловьев, к.т.н., доц., конс.
Б.Ф. Кузнецов, асс. (САФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО ТОКООГРАНИЧЕВАЮЩЕГО РЕАКТОРА В РЕЖИМЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Сверхпроводимость характеризует свойство некоторых материалов обладать нулевым электрическим сопротивлением в условиях достижения ими температуры ниже определенного, критического значения. Такие материалы называются сверхпроводниками. Сверхпроводники делятся на два класса — низкотемпературные, работающие при температурах ниже 4.2 К, и высокотемпературные, пропускающие без потерь токи высокой плотности (до 10^6 А/см² поперечного сечения проводника) при температуре 77.4 К.

Токоограничивающий реактор (ТОР) традиционного исполнения состоит из двух частей: алюминиевая обмотка и бетонный корпус. Основные недостатки ТОР: большие габаритные размеры, падение напряжения на 3 — 4% на реакторе в нормальном режиме работы сети, значительные потери электроэнергии.

Сверхпроводниковый токоограничивающий реактор (СТР) на базе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) лишен недостатков, указанных выше, а также повышает эффективность ограничения токов короткого замыкания. В нормальном режиме работы ВТСП обмотка обладает нулевым электрическим сопротивлением. При коротком замыкании в обмотке реактора протекает ток, плотность которого превосходит критическое значение, и обмотка реактора теряет свои сверхпроводящие свойства. Включение в электрическую цепь дополнительного сопротивления приводит к уменьшению тока. После устранения короткого замыкания происходит самовосстановление сверхпроводящих свойств обмотки и реактор возвращается в нормальный режим работы [1].

Проведено исследование параметров обмотки из ВТСП ленты при протекании по ней тока. На основе этого исследования в программном комплексе Matlab/Simulink создана математическая модель процесса ограничения тока короткого замыкания в СТР.

Литература

1. Герасимов Н.В., Гольдштейн В.Г., Нагний Т.П., Молочников Е.А. Применение сверхпроводниковых ограничителей тока короткого замыкания в составе комплекса противоаварийного управления энергосистем // Самарский Гостехуниверситет. 2013. С 101–107.

*М.С. Зайцев, студ.; рук. И.И. Соловьев, к.т.н., доц. конс.
Б.Ф. Кузнецов, асс. (С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)*

КОМПЬЮТЕРНАЯ 3D МОДЕЛЬ МОДУЛЬНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

В проекте создана компьютерная модель модульного автоматического выключателя в системе 3D моделирования КОМПАС-3D.

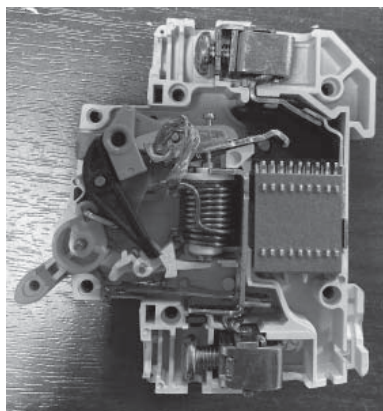


Рис. 1. Автоматический выключатель-прототип модели

3D моделирование широко используется для проектирования электрических аппаратов. Автоматический выключатель — это сложная система, состоящая из контактной системы, дугогасительной камеры, механизма расцепления, электромагнитного и теплового расцепителей (рис. 1).

Взаимодействия элементов выключателя между собой сложны для восприятия при изучении принципа работы аппарата, а плоское изображение не даёт чёткого представления о механике процессов [1]. Для более детального изучения принципа работы системы и получения представления о процессе проектирования электрического аппарата выполнена 3D-модель выключателя с механическими взаимосвязями подвижных элементов.

Модель предназначена для повышения уровня знаний об устройстве и принципе работы автоматического выключателя за счет точной детализации узлов аппарата и их составляющих. Элементы 3D модели подвижны, что позволяет продемонстрировать принцип работы электрического аппарата в динамике, а также показать, как работает механизм взвода и расцепления, как происходит коммутация контактов и т.д.

Полученную модель планируется использовать для твердотельного моделирования других физических процессов: принципа работы биметаллической пластины теплового расцепителя, катушки с магнитным сердечником, процессов возникновения и гашения дуги в дугогасительной камере и т.д. в соответствующих программных комплексах.

Литература

1. **А.В. Перемышцева** Применение 3D-визуализации модели силового автоматического выключателя для модернизации лабораторной работы по коммутационным аппаратам / А.В. Перемышцева, М.В. Бурмейстер, Д.А. Аверьянов [и др.] // Инновации. Наука. Образование. — 2020. — № 14. — С. 540–552.

И. Сарюгло, студ.; рук. О.Н. Молоканов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА НА УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТОПОЛОГИЙ МАГНИТНЫХ ПЕРЕДАЧ

Магнитные передачи и редукторы являются важным направлением современной электротехники. Классические механические редукторы имеют большое количество недостатков, что привело к изобретению новых типов передач, принцип действия которых основан на силовом взаимодействии магнитных полей [1].

Современные топологии магнитных передач обеспечивают высокую плотность крутящего момента. Самыми эффективными принято считать: коаксиальный планетарный магнитный редуктор, волновой магнитный редуктор, коаксиальную магнитную передачу со сборкой Хальбаха и сверхпроводящий коаксиальный магнитный редуктор. Удельные показатели магнитных редукторов определяются не только топологией, но и значением воздушного зазора, который может быть ограничен технологическим процессом. В настоящее время в литературе не рассматривается вопрос влияния зазора на удельные показатели разных вариантов реализации коаксиальных магнитных редукторов.

В работе при помощи параметрического моделирования в программе Comsol Multiphysics было исследовано влияние воздушного зазора на удельные характеристики коаксиальных магнитных передач с различными вариантами расположения постоянных магнитов. Рассчитано около 20 моделей и более 500 точек. По результатам моделирования выявлено, что с увеличением зазора момент и плотность момента существенно падают. Исходя из данных характеристик отмечается, что классическая модель коаксиального магнитного редуктора в меньшей степени теряет момент с увеличением воздушного зазора. Также проанализирована экономическая эффективность магнитных передач. Было выяснено, что наиболее эффективной является топология магнитного редуктора, в которой постоянные магниты внедрены непосредственно внутрь статора, а постоянные магниты на роторе намагничены встречно.

Литература

1. **K. Atallah and D. Howe** A novel high-performance magnetic gear // IEEE Trans. Magn., vol. 37, pp. 2844–2846, Jul. 2001.

А.В. Цибизов, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМАХ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В настоящее время остро встает вопрос о лимитах ископаемых ресурсов и все большую долю в области энергоснабжения начинают занимать альтернативные и возобновляемые источники энергии. К таким источникам относятся фотоэлектрические преобразователи, электрохимические генераторы и т.п.

В связи с этим изучение систем для управления возобновляемыми источниками энергии, а также регуляторов, входящих в эти системы, и алгоритмов управления регуляторами в этих системах необходимо студентам специальности «Электрические и электронные аппараты».

Цель данной работы разработать лабораторный стенд с несколькими видами источников возобновляемой энергии, а именно солнечная панель, как источник типа фотоэлектрический преобразователь, блок элементов Пельтье, как источник типа термоэлектрический преобразователь и металло-воздушная батарея, как источник типа электрохимический преобразователь. Регулирование электрических параметров данных источников осуществляется при помощи трех типов регулятора постоянного тока: понижающего, повышающего и инвертирующего [1]. Управление регуляторами постоянного тока реализуется несколькими разновидностями устройств на базе микроконтроллеров. Это платформа Arduino Nano 3.0 на базе микроконтроллера ATmega328 [2] и платформа ESP32 WROOM DevKit V1 на базе микроконтроллера ESP32. Программирование системы управления реализуется на базе языков C/C++ в интегрированной среде разработки «Arduino IDE».

Литература

1. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: учебник и практикум для академического бакалавриата / Ю.К. Розанов, М.Г. Лепанов; под ред. Ю.К. Розанова. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 206 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс).
2. **Евстифеев А.В.** Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. — 560 с.

*Б.Ф. Кузнецов, асп.; рук. И.И. Соловьев, к.т.н., доц.
(С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОБОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОАГРЕГАТА

Применение в генераторах сверхпроводящих обмоток возбуждения позволяет уменьшить массогабаритные показатели машины с одновременным увеличением выходной мощности по сравнению с генераторами с медными обмотками или постоянными магнитами. Но применение сверхпроводящих обмоток сопряжено со сложностью устройства, включающего системы подачи криоагента и контроля криостата, для поддержания критической температуры внутри машины. Параметры сверхпроводящей обмотки возбуждения генератора малоизучены. Исследованию этого вопроса и посвящена данная работа.

Сверхпроводящая обмотка возбуждения, выполненная в виде замкнутой катушки с наведенным постоянным током, создаёт магнитное поле генератора и является основным элементом системы возбуждения электрической машины. При этом отсутствует источник питания, что позволяет избавиться от щётчного устройства — одного из самых ненадёжных элементов синхронной электрической машины. Однако сама по себе катушка не идеальна. Высокотемпературная сверхпроводящая (ВТСП) лента, из которой изготовлена катушка, имеет как минимум один разрыв, для устранения которого проводится пайка [1].

В работе создана математическая модель переходных процессов в спаяе катушки и процессов при режиме «подзарядки» сверхпроводящей катушки. Моделирование выполнено в программном комплексе MatLab/Simulink. Результаты протестированы на испытательном стенде (рис. 1). Проведена оценка скорости затухания тока в сверхпроводящей замкнутой катушке и построены зависимости постоянной времени затухания от параметров спая и индуктивности катушки. Также проведена оценка различных способов «подзарядки». В дальнейшем планируется исследовать влияние внешних переменных магнитных полей на ВТСП-катушку.

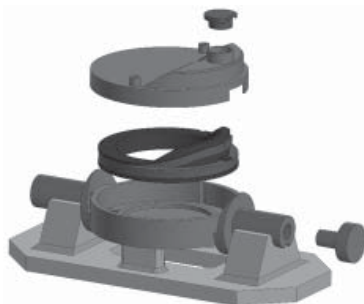


Рис. 1. 3D модель испытательного стенда с ВТСП-катушкой

Литература

1. **W.S. Lee** Analysis of the Current Charge and Discharge Characteristics of a Small-Scale Turn-to-Turn Soldered HTS Coil // IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 25, no. 3, June 2015.

*Е.А. Кущенко, асп.; Т.А. Золотарев, студ.;
рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИНДУКТОРНЫЕ МАШИНЫ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Благодаря развитию технологии производства высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) лент, применение сверхпроводящих обмоток в магнитных системах электрических машин становится областью для новых исследований. Обмотки ВТСП проводят токи во много раз превышающие токи в обычных медных проводниках при практически нулевом сопротивлении в сверхпроводящем состоянии. Характеристики ВТСП ленты постоянно совершенствуется, в первую очередь ее критические токи. Например, ток 12 мм ВТСП ленты с толщиной около 0,12 мм достигает 300–500 А, что в 100 раз больше, чем у обычных проводников.

Интерес к сверхпроводящим технологиям в области электрических машин связан с возможностью увеличения удельной мощности и уменьшения электрических потерь [1, 2].

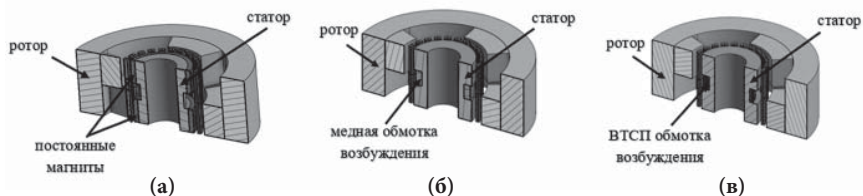


Рис. 1. Магнитная система индукторной машины: (а) — с постоянными магнитами; (б) — с медной обмоткой возбуждения; (в) — с ВТСП обмоткой возбуждения

В докладе приведены сравнение конструкций магнитных систем, в которых в качестве возбуждения используются: постоянные магниты, ВТСП обмотка и медная обмотка (рис. 1). На основе расчета электромагнитных полей получены силовые характеристики и распределение магнитного поля в зазоре между ротором и статором для рассмотренных электрических машин.

Литература

1. **H. Sung, B. Go, H. Park, R.A. Badcock, M. Park and I.Yu.** Design, Fabrication, and Analysis of HTS Coils for a 10-kW Wind Power Generator Employing a Brushless Exciter // *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 27, no. 4, June 2017.
2. **S. Kalsi, K. Hamilton, R. Buckley, R. Badcock.** Superconducting AC Homopolar Machines for High-Speed Applications // *Energies*, vol. 12 (1), 86, December 2018.

Л.А. Жлобицкий, студ.;
рук. С.С. Шовкопляс (ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск)

ИННОВАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ТИРИСТОРНЫМ ПЛЕЧОМ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЁДА ВЫПРЯМЛЕННЫМ ТОКОМ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Одной из существующих проблем организации схем плавки гололеда постоянным током (СПГ ПТ) на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи классом 110–500 кВ, является большое количество времени необходимое для изменения схемы подключения проводов фаз ВЛ к полюсам управляемого выпрямительного моста (УВМ) оперативным персоналом подстанции.

Данную проблему может решить универсальная установка плавки гололёда (УУПГ), предложенная в [1]. УУПГ в своём составе имеет высоковольтный тиристорный коммутатор плавки гололёда (КПГ), который обеспечивает автоматическое изменение схемы подключения проводов фаз ВЛ к полюсам УВМ.

Для обеспечения надёжной и эффективной работы высоковольтных тиристорных плеч УУПГ, рассмотрена система управления их высоковольтных тиристорных каскадным анодным напряжением посредством изменения состояния одного контакта (ключа) [2].

Предполагаемая система управления (СУ) для начала была исследована на компьютерной модели, в результате чего показала свою работоспособность. После, была смоделирована работа КПГ и УВМ на основе высоковольтных плеч с предлагаемой СУ. Для подтверждения данных компьютерного моделирования были проведены лабораторные испытания физических моделей КПГ и УВМ в результате которых данные компьютерного моделирования были полностью подтверждены.

Литература

1. **Левченко И.И., Гончаров П.В., Сацук Е.И., Шовкопляс С.С.** Интеллектуальная система плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи ПАО «МРСК Юга» // 2018. №1 (46). С. 72–82.
2. **Жлобицкий Л.А., Шовкопляс С.С.** Моделирование высоковольтного плеча выпрямительного моста с системой управления от анодного напряжения / Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XI сессии научного семинара по тематике «Диагностика энергооборудования», г. Новочеркасск, 25–26 сентября 2018 г. / ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: Изд-во Лик, 2018. — С. 112–115.

М.А. Мотыженков, студ.; рук. М.Г. Киселев, доц., к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ

Передача электрической энергии от генераторов к потребителям является сложным физическим процессом многократного преобразования энергии и требует наличия в процессе этого преобразования различных форм поддержания электрических и магнитных полей. Соотношение активной и реактивной мощностей в сетях переменного тока зависит от огромного числа факторов и их влияние на работу энергосистемы определяется чрезвычайно сложными процессами. Падение напряжения питающей сети может достигать до 20% при передаче электроэнергии от источника к потребителю. Исследование данной проблемы актуально.

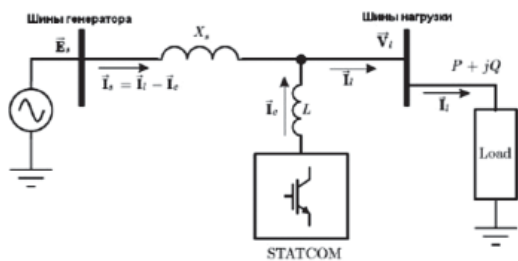


Рис. 1. Схема подключения стабилизатора напряжения

Стабилизатор напряжения предназначен для автоматического поддержания напряжения на заданном уровне при его изменяющихся значениях в питающей электросети [1]. Для создания модели стабилизатора напряжения необходимо задать параметры трансформатора 110/0,4 кВ, а также параметры неидеальной сети с учетом отклонений.

В качестве моделируемого стабилизатора напряжения предлагается использовать компенсатор типа СТАТКОМ. СТАТКОМ — управляемый инвертор напряжения (УИН) с внутренним сопротивлением, близким к нулю. СТАТКОМ подключается к шинам среднего напряжения параллельно нагрузке (рис.1).

При разработке модели устройства стабилизации напряжения создана модель в программном комплексе Matlab/Simulink. Были сняты характеристики потребляемой энергии и разработаны сценарии по улучшению качества потребляемой энергии.

Литература

1. Розанов Ю.К. Силовая электроника. — М.: Изд. МЭИ, 2018.

Е.С. Юрьева, студ.; рук. П.А. Дергачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Неразрушающий контроль — это способ анализа качеств объекта, при котором нет необходимости в нарушении его целостности или выведении из эксплуатации. Он очень востребован в различных областях промышленности и является основным методом для контроля объектов, находящихся в эксплуатации или в процессе производства. Ультразвуковой контроль на базе ЭМАП является бесконтактным методом неразрушающего контроля и имеет ряд преимуществ: при его использовании нет необходимости в очистке поверхности объекта контроля и наличии контактной жидкости, возможность автоматизации, работа в широком диапазоне температур и с высокой скоростью сканирования [1].

Точное математическое моделирование электромагнитно-акустического преобразователя является сложной научно-технической задачей из-за необходимости совместного моделирования постоянного магнитного поля, высокочастотного переменного электромагнитного поля и упругих волн в твердых телах. Для моделирования работы ЭМАП с ферромагнитными изделиями необходимо моделирование магнитострикционных эффектов, которые в общем случае представляются нелинейными связями электромагнитной и механической подсистем. Для возможности комплексного моделирования подобных эффектов используются упрощенные (линеаризованные) модели свойств материалов и их связей с параметрами физических подсистем [1].

В работе рассматривается пример математической модели ЭМАП. Представлено моделирование возбуждения упругих волн с помощью ЭМАП и их распространение в объекте контроля с дефектом и без дефекта.

Литература

1. **Kundu T.** Nonlinear Ultrasonic and Vibro-Acoustical Techniques for Nondestructive Evaluation. Cham: Springer International Publishing, 2019.

А.Е. Чичков, студ.; рук. Ю.Б. Церковский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКА НАГРУЗКИ И ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

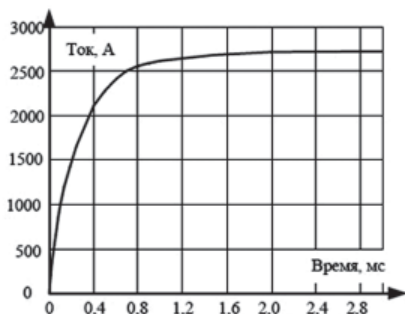


Рис. 1. Изменение тока при КЗ

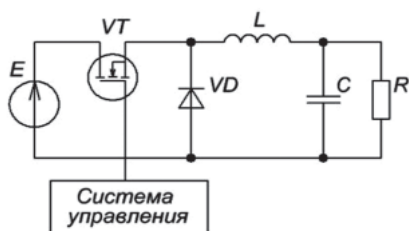


Рис. 2. Силовая схема устройства защиты

Ограничение потребляемого тока нагрузкой, а также защита от короткого замыкания необходима в системах электроснабжения для защиты от выхода из строя всей системы. Для повышения надежности системы электроснабжения разработано устройство ограничения тока и защиты от короткого замыкания. Оно должно ограничивать ток в нагрузке при изменении сопротивления нагрузки и при возникновении короткого замыкания, в этом случае ток не должен превышать 50 А. Одно из главных требований к устройству защиты — это быстрое ограничение тока, поскольку постоянная времени сети не превышает единиц миллисекунд (мс), как показано на рис. 1. Выполнение этого требования можно обеспечить при помощи электронного регулятора, в этом случае его система управления должна иметь обратную связь по току [1]. Дополнительное важное требование — использование отечественных электронных компонентов.

В ходе анализа литературы выбрана схема регулятора (рис. 2) [2] и система управления. При разработке были приняты меры по снижению тепловых потерь, такие как использование специальных схем соединения ключей [3], что необходимо для снижения массогабаритных показателей.

Литература

1. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. М.: Энергоатомиздат., 1992.
2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника от простого к сложному М.: СОЛОН-Пресс 2015.
3. Андреев Ю.А. Проблемы защиты системы электроснабжения космических аппаратов от короткого замыкания при наземных испытаниях. УДК. 621.311.6. ТУСУР 2020, том 23, № 1.

З.З. Кармоков, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТАКТНО-ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Одним из решений более эффективного и быстрого срабатывания автоматического выключателя от токов КЗ является применение пневмоприставки.

Работа автоматического выключателя (АВ) с пневмоприставкой (рис. 1) начинается с момента появления дуги, возникающее из-за проявления эффекта сил отброса контактов вследствие сужений линий тока в точке контактирования. Возникший импульс появления высокотемпературного источника равносильен появлению мощной дуги и возникновению импульса. Динамика распространения этого импульса и определяется скоростью звука при данных температурных условиях. Т.е. практически мгновенно этот сигнал достигает чувствительного элемента пневмодатчика, который передаёт это воздействие на рычаг расцепителя механизма свободного расцепления. Происходит освобождение пружины, приводящей в движение подвижную систему автоматического выключателя [1].

Таким образом, в момент размыкания контактов появляется импульс воздействия на механизм свободного расцепления без какой-либо задержки. Поскольку эти расстояния практически ничтожны, поэтому время от момента отброса контактов до момента расхождения контактов под действием движения контактов за счёт отключающих пружин механизма свободного расцепления и определяет собственное время задержки срабатывания автоматического выключателя [2].

В результате работы выявлены преимущества применения АВ с пневматической приставки. Из сравнения экспериментальных характеристик можно сделать вывод, что преимущество применения пневмоприставки в автоматическом выключателе заключается в ускорении времени отключения при кратностях токов, превышающих уставки автоматического выключателя.

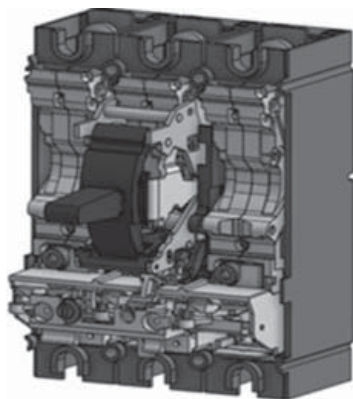


Рис. 1. Конструкция АВ с пневмоприставкой

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.

С.А. Шаров, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТАКТНО-ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДУГОГАСИТЕЛЬНОЙ РЕШЁТКИ

Явление электрической дуги было открыто в 1802 г., однако по сей день ведутся исследования и предлагаются разные решения для повышения эффективности нейтрализации этого явления.

Одним из возможных решений является оптимизация процесса охлаждения дуги при взаимодействии с дугогасительной решёткой и облегчение вхождение дуги в дугогасительную камеру.



Рис. 1. Дугогасительные камеры с модификацией и без неё

в дугогасительную решётку [2].

Для подтверждения предположений проведён эксперимент. Аппарат, оснащённый модифицированной решёткой, отключал постоянный ток разной величины, при этом фиксировалась осциллограмма тока и напряжения в момент отключения. В результате сравнивались полученные осциллограммы с аналогичными при отключении токов тех же номиналов, но в аппарате с решёткой без модификаций.

В работе рассматривается вариант решётки с изменёнными расстояниями между пластинами (рис. 1). Расстояние между пластинами следует делать по принципу гашения дуги постоянного тока дугогасительной системы типа узкая щель [1], в которой по мере удаления дуги от контактов расстояние между изоляционными стенками камеры прогрессивно уменьшается. Обеспечивая постоянное воздействие на дугу, охлаждая её, повышая сопротивление, соответственно уменьшая ток дуги и диаметр. Также целью данной модификации является обеспечение условий вхождения дуги

Литература

1. **О.Б. Брон**, Электрическая дуга в аппаратах управления, Государственное энергетическое издательство, 1954 г., 532 с.
2. **Буль Б.К., Буткевич Г.В., Годжелло А.Г.** Основы теории электрических аппаратов. Издательство «Высшая школа», Москва 1970 г., 600 стр.

И.С. Соин, студ.; рук. Е.П. Курбатова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА КОНТАКТОРА

Контактор — устройство, предназначенное для коммутации силовых электрических цепей посредством электромагнитного привода. У классической конструкции контактора есть недостаток, связанный с необходимым непрерывным энергопотреблением. В работе рассматривается поляризованный тип электромагнитного привода, который отличается наличием постоянных магнитов, используемых для удержания якоря в притянутом положении [1]. Когда для поддержания закрытого состояния в обычном контакторе требуется непрерывная подача напряжения на контакты управления, в контакторе с постоянными магнитами достаточно подать управление только в моменты открытия и закрытия соответственно.

На рис. 1 представлена рассматриваемая конструкция поляризованного электромагнитного привода (1 — момент замыкания, 2 — момент размыкания). В результате работы построена модель магнитной системы поляризованного электромагнита, позволяющая изучить принцип действия и определять параметры электромагнитного привода, управляемого постоянным током с использованием постоянных магнитов. Получены картины магнитного поля (с помощью EasyMAG 3D) в разные моменты времени. Посчитаны суммарные силы, прикладываемые к штоку в разных случаях.

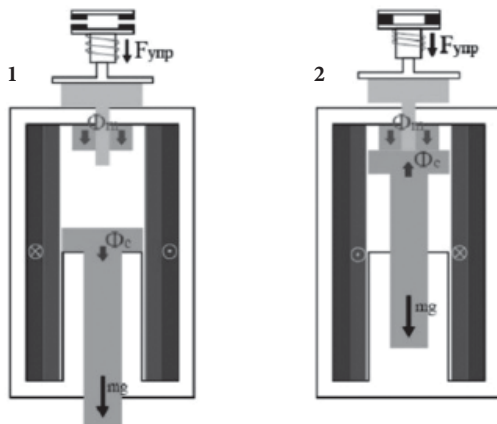


Рис. 1. Контактора постоянного тока с применением постоянных магнитов

Литература

1. **DJ Cho, DK Woo, JS Ro, TK Chung, HK Jung**, “Novel electromagnetic Actuator using a Permanent Magnet and an Inter-Locking Mechanism for a Magnetic Switch”, *Magnetics // IEEE Transactions on*, Vol. 49, Iss. 5. 2013.

В.А. Шишенин, студ.; рук. К.В. Крюков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСКЛЮЧЕНИЕМ ПУЛЬСАЦИЙ ВХОДНОГО ТОКА

В современном мире потребление электроэнергии постоянно растет, поэтому человечество все чаще использует возобновляемые источники энергии, в частности солнечную энергию. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) являются одним из экологичных, и при этом довольно эффективных источников получения энергии. Это привело к развитию модулей ФЭП, что вызвало необходимость решения проблемы эффективного использования данных модулей.

КПД модулей ФЭП в значительной степени зависит от уровня пульсаций входного тока, потребляемого регулятором. Поэтому при проектировании устройств согласования, важной задачей является получение малых пульсаций входного тока согласующих устройств.

Решением данной проблемы в работе было выбрано использование регулятора Луо [1] 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 [2].

По итогам работы разработана математическая модель и метод расчета регулятора постоянного тока с исключением пульсаций входного тока. Была разработана компьютерная модель регулятора в программном комплексе PSpice, которая показала эффективность данного аппарата, а также был разработан его макет.

Литература

1. **F.L. Luo. H. Ye.** Positive output super-lift converters // IEEE Transactions on Power Electronics, 2003, Vol. 18, No. 1, p. 105–113.
2. Двухкаскадный преобразователь постоянного в постоянный // Патент РФ на полезную модель № 124855, 10.02.2013.

*Н.С. Родькин, асп.; рук. К.В. Крюков, ст. преп.,
М.Г. Киселев, доцент (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ПОТОКОВ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Развитие распределённой энергетики в России связано с вопросами повышения эффективности и надёжности энергоснабжения, а также снижения себестоимости электрической и тепловой энергии. Примерно 2/3 территории нашей страны не охвачены сетями электропередач. Разработка регулятора потока мощности для систем с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) для таких регионов может стать решением вопроса электроснабжения.

Особенностями известных ВИЭ является зависимость от источника энергии и его интенсивности (например, сила ветра, уровень освещённости, прилив волн). Для того чтобы нивелировать эти недостатки вместе с ВИЭ используют не возобновляемые источники, например ТЭС или АЭС. Однако в периоды, когда традиционные ВИЭ вырабатывают недостаточно энергии, предлагается использовать ещё один «чистый» источник энергии — водород. Водородные топливные элементы (ТЭ) могут выступить как накопителями избыточной энергии от ВИЭ, так и источниками энергии для различных целей [1]. Данная работа посвящена исследованию таких топливных элементов и разработке системы управления для выработки энергии с помощью фотоэлектрических преобразователей, водородных топливных элементов с мембранами протонного обмена и обратныхходовых преобразователей.

В ходе работы разработаны модели основных узлов и алгоритм управления регулятором потоков мощности, позволяющие имитировать работу энергетической установки в различных режимах. Работа алгоритма проверена при помощи программной среды Matlab/Simulink с использованием библиотеки Matlab Stateflow.

Литература

1. **Zhe Zhang, Riccardo Pittini, Michael A.E. Andersen, and Ole C. Thomsena.** “A Review and Design of Power Electronics Converters for Fuel Cell Hybrid System Applications” *Energy Procedia*, vol. 20, 2012.

*Г.К. Соловов, асп.; рук. К.В. Крюков, ст. преп.,
М.Г. Киселев, доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ ДЛЯ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С ЛИНЕЙНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Рост потребления электроэнергии в мире и снижение запасов природных ископаемых для её выработки стали причиной поиска новых нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Одним из перспективных источников энергии является энергия океанских волн. Большие запасы энергии океана сосредоточены в ветровых волнах, океанических течениях, приливах и отливах.

Для преобразования энергии океана на данный момент используется волновая энергоустановка, в качестве генератора обычно используют линейный генератор (ЛГ) [1]. Однако волновая энергия и частота колебаний не постоянны — это связано с разной интенсивностью ветра, временем года, временем суток и др., вследствие чего частота и амплитуда выходного напряжения генератора имеет переменный характер, поэтому необходимо использовать промежуточный преобразователь, выпрямитель и инвертор. Для корректной работы выпрямителя, контроллеру необходимо отслеживать положение ротора ЛГ. Данная работа посвящена разработке системы управления выпрямителем и исследованию способа отслеживания положения ротора без использования датчиков положения [2].

В ходе работы разработаны модели основных узлов и алгоритм управления регулятором потоков мощности, позволяющие имитировать работу энергетической установки в различных режимах. Работа алгоритма проверена при помощи программной среды Matlab/Simulink с использованием библиотеки Matlab Stateflow.

Литература

1. **Polinder, H., Mecrow, B.C., Jack, A.G., Dickinson, P.G., & Mueller, M.**, Linear generators for direct-drive wave energy conversion // IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2003, 798–804, vol. 2.
2. **P. Zheng, B. Yu, S. Zhu, Q. Gong and J. Liu.**, Research on control strategy of free-piston stirling-engine linear-generator system, 2014 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2014, pp. 2300–2304.

Н.А. Сабайкин, асп.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ СЕТЕВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В настоящее время, происходит значительная реорганизация электроэнергетического комплекса, затрагивающая её техническую, экономическую и организационную части. Реорганизация вызвана появлением новых технологий и средств генерации, передачи и потребления электроэнергии, а также развитием компьютерных и информационных технологий.

Переход к новой модели электроэнергетического комплекса подразумевает использование современных стратегий управления всеми субъектами новой интеллектуальной сети. Новые стратегии управления должны отвечать требованиям по быстродействию, многофункциональности, лучшим статическими и динамическими характеристикам. К таким стратегиям относятся — управление с помощью прогнозной модели, управление с помощью нечеткой логики, технологии машинного обучения и т.д.

Предполагаемая блок схема управления с помощью нечеткой логики изображена на рисунке 1. Сигнал, в виде четкого множества, преобразуется в блоке фазификации в нечеткое множество. Преобразование происходит с помощью функции принадлежности. Затем сигнал обрабатывается с помощью правил из базы знаний. Полученное управляющее воздействие конвертируется в четкое множество и подается далее по системе управления [1].

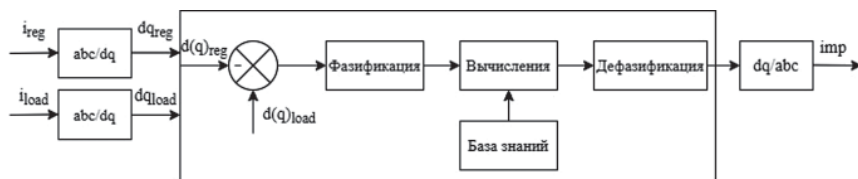


Рис. 1. Предполагаемая блок схема управления с помощью нечеткой логики (i_{reg} , i_{load} — токи регулятора и нагрузки, соответственно; dq_{reg} , dq_{load} — d и q компоненты тока регулятора и нагрузки, соответственно; imp — управляющее воздействие)

Применительно к активному фильтру, использование контроллера с нечеткой логикой позволит добиться большего компенсирования гармоник, что приведет к снижению коэффициента гармоник тока сети, а также уменьшит время переходных процессов, в сравнении с обычным ПИ-контроллером.

Литература

1. A. Zouidi, F. Fnaiech and K. Al-Haddad, "Neural Network controlled three-phase three-wire shunt active Power Filter," 2006 // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2006, pp. 5–10.

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

А.Г. Сапронов, студ.; рук. Д.И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

ОПТИМИЗАЦИЯ БИБЛИОТЕКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В современном электроприводе широко используются различные системы управления. Для того, чтобы привод работал эффективно, необходимо управлять им с помощью качественной системы управления.

При существующем множестве современных систем управления каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, базирующиеся либо на аппаратных, либо на программных возможностях и ограничениях.

Одной из разновидностей таких систем является система управления реального времени, реализованная на микропроцессорном программируемом контроллере. Но её применимость в отношении электропривода частично ограничена по причине производимых ею расчётов, которые происходят в формате «с плавающей точкой», что снижает их быстродействие ввиду технической ограниченности аппаратных и программных возможностей. Также некоторые виды контроллеров не могут использовать такой формат данных. Для таких контроллеров было принято решение работать с ними с помощью функций, реализованных на основе формата «с фиксированной точкой». Аналогично и для расчётов, требующих повышенного быстродействия, что позволило разрабатывать системы управления с меньшими потерями во времени, по сравнению с предыдущим вариантом.

В данной работе оптимизируется библиотека функций микроконтроллера, работающих с фиксированной точкой. Проводится анализ, редактирование и добавление новых функций. В последующем данная библиотека будет использоваться для разработки систем управления реального времени для электроприводов.

Литература

1. **А. Anuchin.** Системы управления электроприводов: учебник для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 373. с.: ил.
2. **Д.И. Савкин, Д.М. Шпак, А.С. Анучин, А.С. Тарасов, К.Г. Федорова.** Микропроцессорные средства в электроприводе на базе микроконтроллеров TMS320F28035: лабораторный практикум / Д.И. Савкин, Д.М. Шпак, А.С. Анучин и др. — М.: Издательство МЭИ, 2019. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

*Н.И. Паскалов, студ.;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Отказы электротехнического оборудования являются причинами возникновения дополнительных издержек в процессе производства. Своевременная диагностика оборудования позволяет уменьшить вероятность появления отказов. Существуют следующие методы и средства предиктивной и постдеструктивной диагностики [1]:

1. Визуальный осмотр.
2. Диагностирование при помощи измерительных приборов.
3. Диагностирование при помощи датчиков, собирающих данные в реальном времени.
4. Диагностирование с использованием технологий Индустрии 4.0.

Отечественная промышленность обладает многообразием объектов, доступ квалифицированных специалистов к которым затруднён, что накладывает ограничения на применение классических способов диагностики и подталкивает к поиску возможностей комбинирования существующих решений с технологиями Индустрии 4.0, включающими в себя анализ больших данных, машинное обучение, облачное хранение.

Настоящая работа направлена на развитие методов и средств диагностики с применением технологий Индустрии 4.0. Она посвящена разработке веб-платформы для обработки и анализа данных, собираемых с электротехнического оборудования промышленных предприятий, в состав которого входят системы автоматизированного электропривода. Полученный результат позволит снизить издержки промышленных предприятий за счёт удешевления стоимости необходимого обслуживания и ускорения локализации возникших неисправностей.

Работа выполнена в рамках проекта «Облачные технологии развертывания цифровых двойников робототехнических систем для решения задач диагностики» 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 2020–2022 гг.»

Литература

1. **Rassudov L., Akmurzin E., Korunets A. and Osipov D.** / Engineering Education and Cloud-Based Digital Twins for Electric Power Drive System Diagnostics // 2021 28th International Workshop on Electric Drives: Improving Reliability of Electric Drives (IWED), 2021, pp. 1–3, DOI: 10.1109/IWED52055.2021.9376395.

*Э.Р. Акмурзин, студ.; Н.Н. Подзоров, асп.;
рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМОВ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

На российских предприятиях широко используется отечественное станочное оборудование с весьма длительным сроком эксплуатации. Его технические характеристики, устаревшие конструкции, изношенность механических элементов, высокая вероятность отказа выработавших свой срок электрических элементов и повышенное энергопотребление требуют безотлагательной модернизации подобного оборудования. Касается это и зубофрезерных станков, где важнейшими элементами являются их электроприводы, мощность которых должна рассчитываться с учетом возможного различия параметров и материалов обрабатываемых изделий [1].

В работе рассматривается модернизация электропривода зубофрезерного станка типа 53А30 с переходом на частотно-регулируемый электропривод. На основе кинематической схемы и предложенной электронной синхронизации движения режущего инструмента и заготовки станка предлагается методика расчёта мощностей электроприводов с учётом особенностей их работы и материалов изделий. Выполнен анализ возможных материалов, их прочностных показателей, и на основе математических соотношений и компьютерной модели определены необходимые мощности электроприводов механизмов станка и их зависимости от обрабатываемого материала.

Представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы электроприводов станка, подтверждающие эффективность их модернизации. В итоге были исключены люфты в механических передачах станка, существенно снизились трудозатраты операторов при обслуживании и программировании станка, повысилась качество изделий и производительность работы станка.

Литература

1. **Лоскутов В.В., Ничков А.Г.** Зубообрабатывающие станки. М.: Машиностроение, 1978. — 192 с.: ил. — (Б-ка станочника).

А.Р. Закиров, студ.; рук. Д.И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ

В железнодорожном транспорте для электровозов, эксплуатируемых в сложных и изменчивых условиях, очень важно иметь оптимальное сцепление колес с рельсами. В случае его нарушения возможно возникновение проскальзывания, которое приводит к потере тягового усилия локомотивом. Для решения данной проблемы используются специальные контроллеры с особыми алгоритмами противопроскальзывания. Качественный алгоритм управления обеспечивает работу на пике коэффициента сцепления и не допускает увеличения проскальзывания выше критического значения.

В данной работе проведен анализ современных литературных источников, в которых предлагаются различные методы управления. Ввиду узкой направленности данная тема не имеет широкого освещения в научных публикациях. Обобщив результаты проведенного литературного обзора по теме, были получены основные выводы для разработки алгоритмов управления проскальзыванием для электровозов:

- необходимо уделять особое внимание времени измерения всех величин и их точности, включая вариацию этих параметров в зависимости от скорости;
- необходимо пересмотреть подход к измерению скорости и дополнить ее измеритель;
- следует учитывать оценку форму кривой коэффициента сцепления от скорости проскальзывания и текущей скорости;
- особое внимание нужно уделять вопросу возврата к точке максимального сцепления при срыве в пробуксовку.

На основе полученных выводов предлагается разработать дополненный алгоритм управления с прогнозированием решения, при котором момент на колесных парах будет перераспределяться так, чтобы минимизировать влияние проскальзывания.

*А.И. Адамюк, студ.;
рук. Ю.М. Сафонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА SCARA-РОБОТА

Анализ ряда научных публикаций на заданную тематику [1–4] позволяет сделать выводы о целесообразности использования цифровых двойников, как средства для расчёта и оптимизации требуемых организационно-технологических и технико-экономических параметров производства, с требуемой точностью и детализацией симуляции, вплоть до полной идентичности по всем цифровым параметрам, получаемым как из модели, так и из реального производства. В данном случае можно получить результаты гораздо точнее, чем аналогичная математическая модель.

В рамках исследования был создан цифровой близнец SCARA-робота на участке сортировки. SCARA-роботы представляют собой жестко зафиксированный в вертикальной плоскости (по оси Z) механизм и гибкую горизонтальную плоскость (по осям X и Y). Достигается такая подвижность в горизонтальной плоскости наличием двух независимых электроприводов. Программное обеспечение устанавливается на персональный компьютер и реализует функции человеко-машинного интерфейса и микроконтроллера управления.

Исследования показали, что при использовании цифрового двойника, мы можем получить приближенные к реальности осциллограммы тока и напряжения на входе и выходе инвертора, а также график скорости двигателя от времени. Результаты моделирования позволили определить оптимальные траектории перемещения между двумя заданными позициями как по минимуму потребляемой энергии, так и по быстрдействию.

Литература

1. **Michael W. Grieves.** Digital Twin: Manufac-turing Excellence through Virtual Factory Replication LLC, 2014, 7 p.
2. **Толстых Т.О., Гамидуллаева Л.А., Шкарупета Е.В.** Ключевые факторы развития промышленных предприятий в условиях цифрового производства и индустрии 4.0 // Экономика в промышленности. — 2018. — Т. 11. — № 1. — С. 11–19.
3. **Bruning J.** Whitepaper: The digital twin. Lenze knowledge № 5. 2019.
4. **Кокорев Д.С., Юрин А.А.** Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. Colloquium-journal № 10 (34), 2019, с. 101–104.

А.А. Корунец, студ.;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

В конкурентной среде техническим образовательным учреждениям необходимо внедрять современные образовательные технологии. В условиях пандемии задача обеспечения непрерывности образовательного процесса выходит на первый план [1]. Виртуальные стенды — это один из эффективных технологичных инструментов, позволяющих повысить результаты освоения многих дисциплин, в частности дисциплины «Электрической привод» [2].

Работа посвящена созданию виртуального лабораторного стенда для исследования электрических приводов. Виртуальный стенд обладает функционалом, который позволит работать с ним почти как с настоящим: наблюдать процессы в реальном времени, визуализировать переходные процессы. Более того, возможна имитация компонентов, которых физически в настоящем стенде нет, за счет чего возможно создание индивидуального стенда для каждого из студентов. Использование облачных технологий для развертывания стендов позволит студентам подключаться с различных устройств и использовать виртуальный стенд как для подготовки к работе на реальном оборудовании, так и в качестве самостоятельного инструмента проведения лабораторных работ. При таком подходе упрощается и обновление версий, а также расширение функционала под требования конкретной образовательной организации.

Работа выполнена в рамках проекта «Облачные технологии развертывания цифровых двойников робототехнических систем для решения задач диагностики» 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 2020–2022 гг.»

Литература

1. **Rassudov L.N., Korunets A.A.** / COVID-19 Pandemic Challenges for Engineering Education. // 2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), Saint Petersburg, Russia. Oct. 4–7, 2020. DOI: 10.1109/ICEPDS47235.2020.9249285.
2. **Rassudov L., Akmurzin E., Korunets A. and Osipov D.** / Engineering Education and Cloud-Based Digital Twins for Electric Power Drive System Diagnostics // 2021 28th International Workshop on Electric Drives: Improving Reliability of Electric Drives (IWED), 2021, pp. 1–3, DOI: 10.1109/IWED52055.2021.9376395.

*Н.Н. Подзоров, асп.; Э.Р. Акмурзин, студ.;
рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАНКА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЙ

В старых моделях зубофрезерных станков синхронизация движения осуществлялась с помощью механических передач путем использования большого числа различных шлицевых валов, шестерен и гитар. Ось инструмента, заготовки и осевой подачи связаны через механику и приводятся в движение одним приводным двигателем, то есть связанной кинематикой.

Связанная кинематика обладает простотой конструкции, но большой трудоемкостью в настройке. Для работы на таком станке требуется специально обученный персонал, что в современных реалиях большая редкость. В связи с указанными недостатками, в таких станках производят модернизацию с целью повышения точности обрабатываемых изделий, уменьшения брака, увеличения производительности и снижения требований к квалификации оператора станка. Для улучшения характеристик станка часто решаются на модернизацию [1].

На примере зубофрезерных станков рассмотрены особенности перехода от связанной кинематики к индивидуальному электроприводу с электронной синхронизацией движений. Произведён анализ связанной кинематики и разработаны требования при переходе к системе управления индивидуальными электроприводами рабочих органов с электронной синхронизацией движения рабочих органов. Разработана система управления электронной синхронизацией движений электроприводов зубофрезерного станка.

Представлены результаты испытаний электронной синхронизации движений, доказывающие эффективность предложенных решений и расширяющих функциональность оборудования. В результате реализации предложенных решений существенно повышена производительность единичного и мелкосерийного производства, улучшены эксплуатационные свойства станка.

Литература

1. Трофимов О.В., Ефимычев Ю.И., Ефимычев А.Ю., Шипилов А.Г. Модернизация предприятий промышленности: концепция, стратегии и механизм реализации // Креативная экономика. 2011, № 11.

*Д.А. Осипов, студ.;
рук. Л.Н. Рассудов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СБОР И ПЕРЕДАЧА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ОБЛАЧНЫЙ СЕРВИС

Для обеспечения функционирования оборудования для него регламентируются плановые работы по техническому обслуживанию. При плановом техническом обслуживании компоненты зачастую заменяются чаще, чем это необходимо, увеличивается время, связанное с простоями, и затраты на техническое обслуживание [1]. Развитие интеллектуальных систем приводит к увеличению внимания к стратегиям профилактического обслуживания, которые могут снизить количество простоев и повысить коэффициент использования производственного оборудования за счет внедрения новых технологий в рамках концепции цифрового производства. В данной работе рассматриваются возможности диагностики оборудования с помощью облачных технологий. Эта реализация имеет следующие преимущества [2]:

- снижение затрат на поддержку, обновление и обслуживание;
- удаленное расположение оборудования;
- обучение системы диагностики на основе данных с множества установок заданного типа;
- услуга по подписке.

Работа посвящена решению задачи облачной диагностики электроприводов на базе платформы PYNQ от XILINX. Основная причина использования технологии в этой работе — удобство программирования системы на кристалле для решения задачи отправки диагностических данных в облако за счет использования в качестве языка программирования Python.

Работа выполнена в рамках проекта «Облачные технологии развертывания цифровых двойников робототехнических систем для решения задач диагностики» 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 2020–2022 гг.»

Литература

1. **Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hanjun Kim, Martin B.G. Jun, John W. Sutherland** / Predictive Maintenance of Machine Tool Systems Using Artificial Intelligence Techniques Applied to Machine Condition Data // *Procedia CIRP*, 80 (2019), pp. 506–511. DOI: 10.1016/j.cirp.2007.05.023
2. **Rassudov L., Akmurzin E., Korunets A. and Osipov D.** / Engineering Education and Cloud-Based Digital Twins for Electric Power Drive System Diagnostics // 2021 28th International Workshop on Electric Drives: Improving Reliability of Electric Drives (IWED), 2021, pp. 1–3, DOI: 10.1109/IWED52055.2021.9376395.

А.А. Голышков, студ.; рук. В.Н. Остриров, д.т.н., проф.;
К.В. Мильский (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА РЕГУЛИРУЕМОЙ ИНДУКТИВНОТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ПРИ ПОМОЩИ ГИБРИДНЫХ ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

При проведении опытно-конструкторских работ по разработке силовых электронных преобразователей и проведении испытаний мелких партий (до нескольких десятков штук) выпускаемой продукции требуется активно-индуктивная нагрузка с активным сопротивлением от десятых долей Ом до десятков Ом и индуктивностью до сотен мкГн.

К числу элементов, которые часто используются при испытании какого-либо электроприбора, относятся дроссели. Их важнейшей характеристикой является индуктивность. Для того, чтобы не использовать чрезмерно большие магнитопроводы и проводить измерения индуктивности для различного рода задач, было решено разработать регулируемую индуктивность. Регулирование индуктивности будет осуществляться изменением воздушного зазора в магнитопроводе. При испытании преобразователей с большими токами на низкоомных резисторах зазор будет максимальный, чтобы обеспечивать большой ток насыщения, пусть и при маленькой индуктивности. С уменьшением зазора между магнитопроводами индуктивность будет увеличиваться, а ток насыщения снижаться.

В данной работе рассмотрено преимущество используемого метода регулирования индуктивности относительно других. Представлена вертикальная конструкция перемещения подвижной части установки за счет гибридных шаговых электродвигателей, управляемых при помощи программируемого логического контроллера и совмещённых с передачей типа винт-гайка, рассмотрены преимущества данной конструкции. Выведена зависимость изменения индуктивности относительно воздушного зазора. Был выбран П — образный разрезной магнитопровод из шихтованной стали, обмотка выполнена в виде шины из меди толщиной 2 мм.

Литература

1. **А.Г. Сливинская.** Электромагниты и постоянные магниты. М., «Энергия», 1972 г., 248 с. с ил.
2. **Б.Ю. Семенов.** Силовая электроника для любителей и профессионалов. «Солон-р» 2001 г., 321 с. с ил.

Г.В. Андрус, студ.;
рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА СИНХРОННОГО ДВИЖЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОВ СТАНКА

Одной из актуальных на сегодня задач проектирования станков является обеспечение синхронной работы нескольких электроприводов, предусмотренных в одном станке. Например, с такой задачей сталкиваются в металлообрабатывающих станках, когда необходимо точное синхронное перемещение обрабатываемой заготовки и обрабатывающего рабочего органа по двум или трем осям. При этом наиболее часто применяемым типом электропривода в подобных ситуациях является сервопривод на базе синхронных электродвигателей с постоянными магнитами.

Данная работа посвящена исследованию синхронной работы нескольких сервоприводов станка. Целью этих исследований является выработка рекомендаций по структуре и настройке системы синхронного движения сервоприводов. Для достижения цели в работе был проведен теоретический анализ известных решений и разработан экспериментальный стенд, на котором проведены исследования, позволившие сделать требуемые для практики выводы.

Синхронизация трех сервоприводов стенда осуществляется по принципу управления «ведущий-ведомый». Главный контроллер формирует управляющий сигнал, соответствующий заданной программе управления согласованным движением по трем осям. Этот сигнал через модуль входов-выходов (I/O) поступает на сервопривод, сконфигурированный как «ведущий», который формирует сигнал задания для «ведомых».

В докладе представлены результаты исследования данной структуры синхронизации сервоприводов по показателям точности синхронизации и быстродействия системы. Полученные рекомендации по разработке и настройке системы синхронизации «ведущий-ведомый» имеют важное практическое значение при использовании в электроприводах станков.

К.В. Шабунова, студ.;
рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВХОДНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Электромехатронный модуль позиционирования (ЭМП) широко применяется в энергетике, станкостроении и робототехнике. Основными задачами ЭМП являются:

1. Образование заданной и стабильной динамики переходных процессов движения вала двигателя.
2. Достижение минимальной погрешности в статике и динамике [1].

Присутствие неединичного числителя в передаточной функции по управлению усугубляет динамику системы, что не дает добиться её стабильности. Для компенсации воздействия полинома числителя на динамические процессы управления применяются динамические звенья с передаточной функцией обратной числителем, включенные параллельно на вход регулятора.

Для анализа эффективности использования входного фильтра на примере ЭМП с ПИ2И(Д)-регулятором, настроенного на динамику Бесселя, по структурной схеме была получена передаточная функция системы по управлению без учета входного фильтра. Сформирована передаточная функция по управлению с учетом входного фильтра.

Временные характеристики ЭМП с ПИ2И(Д)-регулятором, полученные символическими возможностями *MathCAD* для оценки входного фильтра показаны на рис. 1.

При отсутствии фильтра переуправление с определяемого динамикой Бесселя значения — 0,83% возрастает до 52,88% при буквально постоянном времени регулирования.

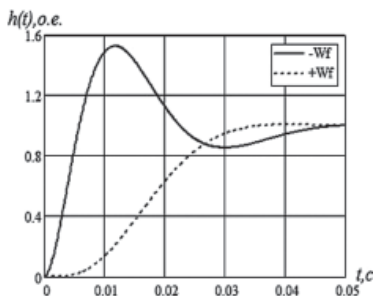


Рис. 1. Временные характеристики ЭМП с ПИ2И(Д)-регулятором по управлению для оценки входного фильтра

Литература

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФБОЛУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.

К.С. Бурлаков, студ.;
рук. А.Р. Колганов, д.т.н., профессор (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ

В настоящее время в различных областях промышленности применяются промышленные манипуляционные роботы (МР). Для внедрения МР требуются системы управления (СУ). Они служат для взаимодействия между человеком-оператором и МР. Таким образом, разработка и исследование системы управления манипуляционным промышленным роботом является актуальной задачей.

По уравнениям Лагранжа для прямой и обратной задач кинематики для звеньев манипулятора (1–3) составлена и реализована в Simulink математическая модель управления манипулятором через координаты заданных точек схвата (на рис. 1.)

$$(J_1 + J_2 + m_2(q_2 - l_2 + p_2)^2 + m_3 q_2^2) \ddot{q}_1 + 2\dot{q}_1 \dot{q}_2 (m_2(q_2 - l_2 + p_2) + m_3 q_2) = M_1; \quad (1)$$

$$(m_1 + m_2) \ddot{q}_2 - q_1^2 (m_2 \cdot (q_2 - l_2 + p_2) + m_3 q_2) = F_2; \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{q}_2 = F_2 + m_3 g. \quad (3)$$

Проведенные вычислительные эксперименты дают возможность осуществлять формирование траектории рабочего органа манипулятора, выбирать кратчайший путь до заданного значения координат схвата, отслеживать движение и время перехода звена в заданную координату, определить порядок включения звеньев и сократить время процесса переходу от звена к звену.

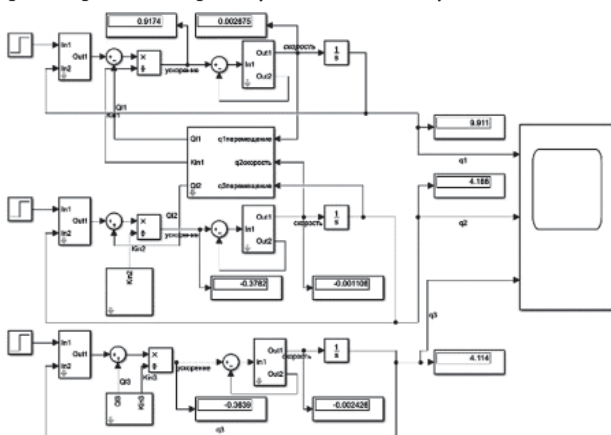


Рис. 1. Математическая модель системы управления манипулятором

Литература

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФБОЛУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2016. — 340 с.

*О.А. Михайкин, студент;
Д.И. Савкин, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОИМПУЛЬСНЫХ СХЕМ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

В современной энергетике предъявляются высокие требования к качеству питающего напряжения. В свою очередь высокое качество питающего сигнала достигается подавлением высших гармоник. Так, стандартная 6-пульсная схема выпрямления в составе управляемого преобразователя потребует установки дополнительного фильтра для удовлетворения необходимым нормам, что приводит к увеличению потерь в преобразователе.

В настоящее время активно развивается направление исследования многоимпульсных схем выпрямления в составе управляемых преобразователей [1–3]. Данные схемы представляют собой несколько 6-пульсных схем выпрямления, включённых параллельно друг другу. На вход системы должен подаваться несимметричный ток, например, для 12-пульсной схемы смещение должно составлять 30 градусов. Достигают этого с помощью автотрансформатора с выходными обмотками треугольник-звезда (А-У).

По ходу исследования была составлена математическая модель для расчета эффективности работы 12-пульсной схемы выпрямления. Практические исследования проводились на базе двух станций управления погружными насосами, имеющих в своём составе соответственно 6-пульсную и 12-пульсную схему выпрямления, с номинальным значением полного тока станции в 1200 ампер.

Анализ полученных данных показал, что значение высших гармоник в питающем напряжении станции с 12-пульсной схемой выпрямления меньше на 50 процентов и более, по сравнению со станцией с 6-пульсной схемой выпрямления.

Литература

1. **S. Choi, P.N. Enjeti, H. Lee and I.J. Pitel**, “A New Active Interphase Reactor for 12-Pulse Rectifiers Provides Clean Power Utility Interface,” IEEE IAS, pp. 2468–2474, 1995.
2. **B. Singh, G. Bhuvaneswari, and V. Garg**, “Harmonic mitigation using 12-pulse AC-DC converter in vectorcontrolled induction motor drives,” IEEE Trans. Power Del., Vol. 21, No. 3, pp. 1483–1492, July 2006.
3. **R.C. Fernandes, P. da Silva Oliveira, and F.J.M. de Seixas**, “A family of autoconnected transformers for 12 — and 18-pulse converters — Generalization for delta and wye topologies,” IEEE Trans. Power Electron., Vol. 26, No. 7, pp. 2065–2078, Jul. 2011.

*К.В. Фирстова, студ.; Н.А. Курицына, студ.;
рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время металлорежущие станки с ЧПУ практически заменили оборудование с ручным управлением. Однако одной из проблем остается исследование динамики электроприводов металлорежущих станков непосредственно на оборудовании, так как его нужно оснастить многочисленными датчиками, которые давали бы необходимую информацию об объекте.

Поэтому, используя методы математического моделирования, была разработана динамическая модель электропривода переменного тока [1], имитирующая процесс работы механизма главного движения металлорежущего станка. С помощью этой модели можно получить необходимые данные:

- об угловой скорости и положении не только вала двигателя, но и самого шпинделя;
- о фазных токах и напряжениях двигателя, о потокоцеплении;
- об электромагнитном моменте двигателя, силе резания и т.д.

Математическая модель позволяет проводить исследования электропривода не только в номинальном, но и в аварийных режимах работы, которые затруднительно проводить на дорогостоящем оборудовании.

Посредством оптимизации были подобраны коэффициенты регуляторов системы управления электропривода переменного тока и исследовано поведение электромеханической системы при изменении этих коэффициентов в допустимых пределах.

Таким образом, благодаря математическому моделированию, расширяется спектр возможностей для исследования электропривода, не проводя их непосредственно на оборудовании. Кроме этого, моделирование позволяет прогнозировать поведение электропривода в аварийных режимах работы, что позволит принять необходимые меры для предотвращения работы электропривода в этих режимах.

Литература

1. **Колганов А.Р.** Структурные модели элементов и систем автоматизированного электропривода / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2017. — 116 с.

А.А. Чепига, асп.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАТРИЧНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

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 [2].

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," Industrial Electronics Society, 2001. IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE, Denver, CO, 2001, pp. 1515–1520 vol. 2.
2. **S. Angkititrakul and R.W. Erickson**, "Control and implementation of a new modular matrix converter," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04. Nineteenth Annual IEEE, 2004, pp. 813–819 vol. 2.

О.А. Лукин, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ



Рис. 1. Конструкция регулирующей арматуры Emico

Запорно-регулирующей арматурой называются устройства, предназначенные для перекрытия или распределения потока жидких и газообразных рабочих сред, регулирования различных параметров технологических процессов (давления, напора, температуры, количества подаваемого вещества и т.д.). На данный момент регулируемые электроприводы для запорной арматуры активно применяются практически во всех существующих отраслях промышленности и становятся неотъемлемой частью ряда технологических процессов.

В докладе рассматривается электропривод запорно-регулирующей арматуры (рис. 1) фирмы Emico (Корея), предназначенной для использования в системах газоснабжения.

Разработана математическая модель и приведены результаты исследования работы электропривода в режиме отработки заданного перемещения рабочего органа запорно-регулирующей арматуры.

Литература

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. — 392 с, ил.

И.А. Латвис, студ.;
рук. А.Р. Колганов, д.т.н., профессор (ИГЭУ, Иваново)

СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

В настоящее время, когда свыше 60% вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется электрическими приводами, проблема энергосбережения и надежности теснейшим образом связана с эффективностью электродвигателей. Вот почему так актуально создание надежных и энергосберегающих систем с векторным управлением для асинхронных и синхронных трехфазных двигателей.

Это связано с тем, что двигатели постоянного тока по сравнению с асинхронными электродвигателями, имеют ряд недостатков: малый срок службы коллекторно-щеточного узла из-за наличия скользящего контакта между щетками и коллектором; скользящий контакт является источником радиопомех; большие габаритные размеры и стоимость, меньшее КПД.

В докладе рассматривается горизонтально-фрезерный станок Leadwell MH-500i (рис. 1).

Был выполнен расчёт и выбор двигателя механизма подачи станка, а также выбор электропривода подачи станка и выбор комплектного электрооборудования.

Для проведения динамического анализа выбранного электропривода с векторным управлением для механизма подачи была построена структурная модель функционального уровня электропривода механизма подачи, взятая из рекомендованного учебного пособия [1].



Рис. 1. Металлорежущий станок Leadwell MH-500i

Литература

1. **Колганов А.Р.** Структурные модели элементов и систем автоматизированного электропривода / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2017. — 116 с.

*К.К. Ермаков, аспирант;
рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КТЭО КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА НА ЯЗЫКЕ СИ

В данной работе рассматривается синтез и тестирование модели комплекта тягового электрооборудования (КТЭО) карьерного самосвала грузоподъемностью 90 тонн. Модель разработана на языке СИ и представлена проектом в специализированной программе для симуляции [1]. Основная цель работы — получение работоспособной модели КТЭО для дальнейшего исследования и повышения эффективности алгоритмов управления системы управления электромеханической трансмиссии (ЭМТ) самосвала.

Основные составляющие КТЭО для моделирования: 2 тяговых асинхронных электродвигателя (ТАД) ТАД-320; синхронный генератор (СГТ) СГТМ-700; шкаф преобразователей и систем управления (ШПСУ). Оборудование КТЭО произведено Российским электротехническим концерном «Русэлпром». Данный комплект является основой ЭМТ серийно выпускаемых карьерных самосвалов БЕЛАЗ-75585.

Проведен синтез и автономное тестирование моделей ТАД на основе стандартной системы уравнений асинхронной машины с учетом нелинейности цепи намагничивания [2]. Выполнена разработка модели системы векторного управления приводом для тяговых электродвигателей [3]. Создана модель СГТ и его системы управления. Выполнены испытания модели КТЭО в рабочих режимах. Проведены испытания рабочих режимов КТЭО на стендовом оборудовании. Сравнительный анализ показал, что функционирование модели соответствует реальному оборудованию.

Дальнейшая работа предполагает разработку модели ДВС и алгоритмов управления верхнего уровня, включая специфические режимы работы.

Литература

1. **Ермаков К.К.** Разработка программного обеспечения «MODELINK» для моделирования и анализа алгоритмов управления электроприводом транспортных средств: Материалы международной молодежной конференции «Тинчуринские чтения-2021». Казань, 28–30 апреля 2021 г. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдулляязнова. — Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. — 488 с.
2. **Виноградов, А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. — Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2008. — 318 с.
3. **Виноградов, А.Б.** Особенности реализации тягового электрооборудования гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л.с. / А.Б. Виноградов, Н.Е. Гнездов, В.Л. Чистосердов // *Электротехника*. — 2017. — № 5. — с. 14–18.

М.Ф. Мазитов, студ.;
рук. Ю.М. Сафонов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

При изменении количества потребителей на работающих насосных станциях большое значение имеет стабилизация давления в трубопроводе. За счет изменения скорости вращения насосного агрегата можно добиться стабилизации давления на выходе насосной станции. Для осуществления связи между давлением на выходе и скоростью вращения насоса, как правило, вводят контур регулирования с ПИД-регулятором.

В данном случае речь идет об управлении нелинейной и относительно сложной системой. В такой системе традиционный ПИД-регулятор имеет не самые лучшие характеристики, т.к. в системе постоянно происходят изменения свойств объекта, что обусловлено текущим количеством потребителей и необходимостью менять коэффициенты регулятора, т.е. постоянно проводить его поднастройку. Поэтому предлагается ввести регулятор на основе нейронных сетей.

Нейронные сети в регуляторах используются преимущественно двумя способами: для построения самого регулятора и для организации подстройки регулятора. В данной работе предлагается прибегнуть ко 2-му варианту, а именно возложить процесс подбора коэффициентов на нейронные сети. Особенностью нейронной сети является способность к “обучению”. Возможностью обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами.

Сам же регулятор предлагается построить на базе нечеткой логики и провести исследования на математической модели насосной станции. Основным преимуществом такого регулятора является использование опыта эксперта. Таким образом, сочетание нейронных сетей и использование опыта эксперта в регуляторе на нечеткой логике позволяет получить более высокое качество регулирования работы насосных агрегатов в широком диапазоне изменения параметров нагрузки.

Литература

1. **В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голупов.** Нечеткая логики и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. — 224 с.

*Н.А. Травкин, студ.; А.А. Чепига, асп.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

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), 2 блока управления двигателем (БУД), и блок резервного питания (БРП). БУГ управляется по классической структуре векторного управления синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. БУГ работает в режиме неуправляемого выпрямителя. Для решения на базе SiC выпрямление производится в синхронном режиме, когда транзистор включается в фазу проводимости диода. 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.

А.А. Алексеев, асп.; рук. В.В. Тютиков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ШПИНДЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Одним из требований, предъявляемых к системам управления электроприводами современных шпиндельных двигателей, является возможность высокоскоростной обработки (быстрый разгон, торможение и работа на скоростях, выше 10000 об/мин). В таком режиме двигатель находится во второй, либо в третьей зоне регулирования скорости.

Первая проблема, с которой можно столкнуться при разработке системы управления — выбор способа ослабления поля. Для обеспечения наиболее быстрого разгона на заданную скорость двигатель должен работать с критическим моментом. Добиться этого можно с использованием регулятора напряжения, однако такой подход имеет ряд недостатков: требуется информация о напряжении, сигнал которого может быть зашумлен; ухудшается динамика на высоких скоростях; невозможны разгон и работы в третьей зоне.

Второй проблемой является оценка вектора потокосцепления ротора. Известные структуры наблюдателей могут давать неточную информацию. В частности, самая распространенная структура, основанная на модели ротора (МР), занижает оценку амплитуды потокосцепления на высоких скоростях из-за насыщения стали, а также дает некорректную информацию об угле коммутации вследствие нагрева двигателя. Вторая структура, основанная на модели статора (МС), лишена этих недостатков, однако дает некорректную оценку на низких частотах и сильно зависима от сопротивления статора. Третий наблюдатель, основанный на переключении этих двух моделей, теоретически должен обладать преимуществами МР на низких скоростях и МС на высоких. На практике он показал себя хуже МР: был менее устойчив к изменению параметров двигателя, а оценка потокосцепления была сильно зашумлена, так как в нем использовалось напряжение, восстановленное из скажности ШИМ.

Предлагается система управления, в которой задание на потокосцепление ротора уменьшается обратно пропорционально текущей скорости одновременно с уменьшением максимального задания на ускорение, что позволяет выполнять разгон и торможение с моментом, близким к максимальному. В качестве наблюдателя используется структура МР, с учетом табличной кривой намагничивания, а параметры, изменяющиеся при нагреве, динамически корректируются на основе сигнала с датчика температуры.

Данная система управления прошла испытания и в настоящее время используется на фрезерном станке КВС МВ184, где обработка проводится на скоростях до 14000 об/мин.

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

С.С. Кондрашов, асп.; рук-ль М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Коррозионные процессы — причина износа труб нефтепроводов, технологического оборудования в металлургии, газотурбинных установок. Это заставляет осуществлять поиск технологий, которые бы позволили обеспечить существенное повышение ресурса работоспособности металлических деталей в агрессивных средах.

Предложенная авторами технология нанесения защитного покрытия разделяется на два этапа: напыление порошка при помощи специальной газопламенной горелки и последующее расплавление для фиксации на детали при помощи индукционного нагрева [1].

В работе [1] был рассмотрен процесс оплавления нанесенного коррозионностойкого покрытия с применением индукционной установки, в которой вращение изделия и перемещение индуктора осуществлялось с использованием асинхронных двигателей. Применение асинхронных двигателей существенно увеличивает размеры установки, а также приводит к её удорожанию по причине использования преобразователей частоты. Очень значительным недостатком такой установки является недостаточная точность перемещения индуктора вдоль оплавляемого покрытия.

В данной работе предлагается оснастить индукционную установку шаговыми двигателями (рис. 1), один из которых будет перемещать индуктор, а второй — вращать изделие с нанесенным покрытием, осуществить синтез системы управления и программирование контроллеров плат управления электроприводами. Такое решение позволит повысить точность управления технологическим процессом, уменьшить размеры и снизить стоимость установки.

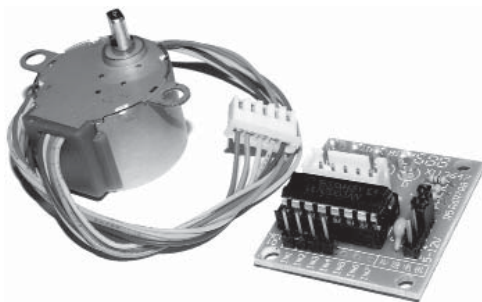


Рис. 1. Конструкция шагового электродвигателя и платы управления

Литература

1. **Федин М.А., Кувалдин А.Б. и др.** Разработка методики расчета индукционной установки для оплавления коррозионностойких покрытий // Фёдоровские чтения — 2020: I Междунар. научно-практич. конф. с элементами научной школы. — М.: Издательский дом МЭИ, 2020. — С. 139–146.

А.Д. Ленючева, студент;
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТРУБ — НАГРЕВАТЕЛЕЙ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

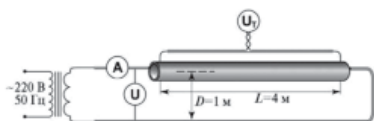


Рис. 1. Схемы измерений характеристик ферромагнитных труб на переменном токе

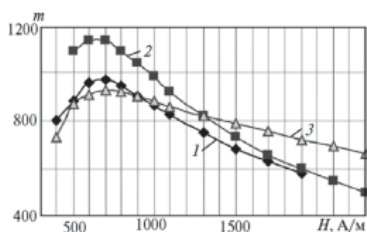


Рис. 2. Сравнение усредненных экспериментальных значений относительной магнитной проницаемости горяче-(1) и холоднокатанных (2) стальных труб с литературными данными (3)

Актуальность данной темы обусловлена широким использованием индукционно-резистивной системы нагрева (ИРСН) для обогрева промышленных трубопроводов.

Расчет ИРСН при их проектировании сопряжен с необходимостью учета непостоянства относительной магнитной проницаемости по толщине стенки трубы, а также с наличием гистерезиса и высших гармоник. Для расчета параметров ИРСН необходимо знать электрические и магнитные свойства стальных ферромагнитных труб (нагревателей в ИРСН) — удельное электрическое сопротивление, зависимости относительной магнитной проницаемости и удельных объемных потерь на перемагничивание стали от напряженности магнитного поля. Литературные источники по данным вопросам достаточно скудны, поэтому электрофизические свойства стальных ферромагнитных труб необходимо определять экспериментально.

В работе предложена методика определения электрофизических свойств стальных труб, являющаяся развитием идей, изложенных в работе [1], и основанная на проведении экспериментальных исследований образцов труб по схеме, представленной на рис. 1. Были исследованы стальные трубы диаметром 28–60 мм с толщиной стенки 3,0–3,5 мм, результаты представлены на рис. 2.

Экспериментально определены значения удельного электрического сопротивления, зависимости относительной магнитной проницаемости и удельных объемных потерь на перемагничивание от напряженности магнитного поля.

Литература

1. Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., Кувалдин А.Б. Метод определения электрофизических свойств стальных труб // Электротехника, 2009. № 8. С. 55–61.

А.В. Молостова, студент; рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМАТОРА СКОТТА

На сегодняшний день индукционно-резистивные системы нагрева (ИРСН), основанные на использовании поверхностного эффекта в электрических проводниках переменного тока, наиболее оптимизированы под задачи электрообогрева протяженных трубопроводов.

Мощности современных ИРСН, являющихся однофазной нагрузкой, в настоящее время могут достигать сотен киловатт, поэтому в системах электроснабжения таких устройств электрообогрева необходимо предусмотреть симметрирование нагрузки.

Для симметрирования ИРСН наиболее целесообразным является использование симметрирующего трансформатора на основе трансформатора Скотта (рис. 1).

Получена математическая модель предложенной системы электроснабжения с использованием симметрирующего трансформатора, реализованная в виде имитационной модели в пакете MATLAB/Simulink.

Исследованы электромагнитные процессы в системе электроснабжения, получены характеристики трансформатора и векторно-топографические диаграммы токов и напряжений.

На кафедре ЭППЭ НИУ «МЭИ» ведутся работы по практической реализации предложенного симметрирующего трансформатора для питания ИРСН, реализованной в виде физической модели.

Литература

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин — Москва: Инфра-Инженерия, 2015.

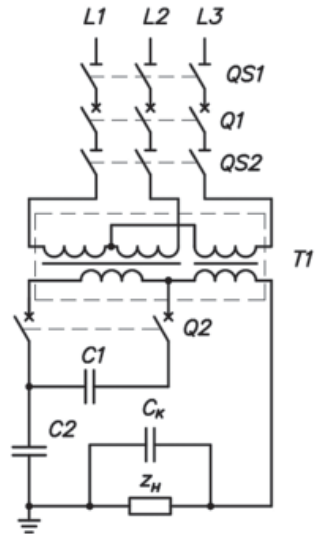


Рис. 1. Схема электроснабжения с применением специального трансформатора для подключения ИРСН

*Е.А. Макарова, студент;
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА НЕСТАЦИОНАРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В НИХ

Одним из способов, обеспечивающих надежную защиту стальных деталей от коррозии, является применение коррозионностойких покрытий на основе сплавов никеля с хромом.

Нанесение защитного покрытия в предложенной технологии осуществляется следующим образом: в начале порошок наносится на поверхность детали при помощи газопламенной горелки, а затем происходит последующее расплавление порошка с использованием индукционного нагрева для его фиксации на поверхности детали [1].

Проектирование установки индукционного нагрева для оплавления коррозионностойких покрытий стальных деталей (выбор оптимальной частоты тока индуктора, толщины, времени обработки детали и т.д.) требует разработки нестационарной математической модели процесса нагрева и расплавления покрытия, в основу которой положено уравнение нестационарной теплопроводности Лапласа-Пуассона с учетом внутренних источников теплоты, записанное в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{\partial t}{r \partial r} \right) + \frac{q_v}{c \cdot \rho}$$

где t — температура; a — температуропроводность; c — удельная теплоемкость; ρ — плотность; r — полярный радиус (текущая координата); τ — время; q_v — удельная объемная мощность внутренних источников теплоты при индукционном нагреве.

Сложность разработанной математической модели заключается в необходимости учета термонапряжений, фазовых превращений в структуре стальной детали, а также их визуализации для оценки влияния термообработки, неизбежной при индукционном оплавлении покрытия, на механические свойства заготовки.

Верификация разработанной связанной математической модели осуществлена с использованием лабораторного стенда на кафедре ЭППЭ.

Литература

1. **Федин М.А., Кувалдин А.Б. и др.** Исследование процесса индукционного нагрева для плавления напыленных проводящих покрытий // ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕ- РЕЖЕНИЕ — XXI ВЕК: материалы XVII международной научно-практич. конференции. — Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. — 2019. — С. 109–113.

М.А. Дерюгин, студент; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВА

При индукционно-резистивном нагреве (ИРН) индуктор не только создаёт электромагнитное поле, но и является нагревателем сопротивления. Одной из областей применения ИРН является термообработка сварных швов трубопроводов при температурах до 300°C.

В качестве индуктора обычно применяется гибкий кабель с достаточно термостойкой электроизоляцией, а для снижения тепловых потерь используется тепловая изоляция. Возможны два варианта расположения индуктора (1): поверх теплоизоляции (3): или между ней и стенкой трубы (2), (см. рис. 1).

Целью исследований, проведённых на математических моделях системы «индуктор — труба», является определение распределения температуры и тепловых потоков в системе, а также электрических характеристик устройства ИРН. По результатам расчётов выбирается также материал и толщина тепловой изоляции, и параметры индуктора (кабеля). Электротепловой расчёт выполняется итерационным методом.

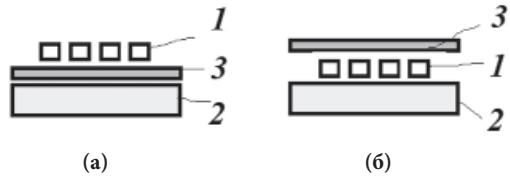


Рис. 1. Варианты размещения индуктора: 1 — витки индуктора (с электроизоляцией), 2 — стенка трубы, 3 — теплоизоляция

Литература

1. Хромченко Ф.А., Корольков П.М. Технология и оборудование для термической обработки сварных соединений. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.
2. Кувалдин А.Б., Федин М.А. Теория индукционного нагрева. Ч. 1: Основные характеристики и расчёт параметров электромагнитного поля. — М.: Изд-во МЭИ, 2018. — 68 с.

*Д.М. Семенов, студент;
рук. М.А. Федин, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВОПРОСАМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Одной из немаловажных проблем современных систем управления печами сопротивления является настройка ПИД-регуляторов. Большинство печей сопротивления, находящихся в эксплуатации на предприятиях, требуют внимания со стороны технических специалистов в сфере автоматизации управления вышеуказанных контроллеров.

Основная задача современного ПИД-регулятора заключается в поддержании технологического параметра на заданном пользователем уровне.

Для регулирования температуры используется нагреватель, а измерение температуры производится с помощью аналогового датчика температуры с унифицированным токовым входом. Настройка и регулировка параметров ПИД-регулятора заключается в определении нужных коэффициентов в законах регулирования для данной задачи.

Обзор литературы выявил, что распространённой проблемой ПИД-регуляторов является их настройка для конкретных систем регулирования, в том числе проблема интегрального насыщения.

Проблема интегрального насыщения состоит в том, что если сигнал на входе объекта управления вошел в зону насыщения, а сигнал рассогласования не равен нулю, то интегратор продолжает наращивать сигнал на входе, но этот сигнал уже не чувствует в процессе регулирования и не воздействует на объект должным образом (рис.1).

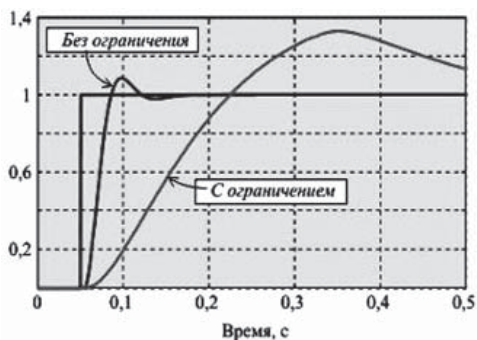


Рис. 1. Реакция входной переменной на скачок входного воздействия

нулю, то интегратор продолжает наращивать сигнал на входе, но этот сигнал уже не чувствует в процессе регулирования и не воздействует на объект должным образом (рис.1).

В работе смоделирована модель управления печью сопротивления, определено влияние управляющих и возмущающих воздействий на прямые показатели качества регулирования.

Литература

1. ЦИТМ «Экспонента» — MATLAB&Simulink, Инженерные Технологии и моделирование. URL: <https://exponenta.ru/> (Дата обращения 06.11.2021).

А.В. Крупнов, асп.; А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАВКИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ МАЛОЙ ВМЕСТИМОСТИ

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) малой вместимости 0,5–12 т имеют большой удельный расход электроэнергии по сравнению с ДСП средней и большой вместимости. Это связано с геометрическими особенностями конструкции ДСП и режимами работы. [1]

Удельный расход электроэнергии за весь период плавки составляет 700–800 кВт·ч/т в ДСП малой вместимости, в период расплавления — 475–650 кВт·ч/т, а средний КПД дуг 0,57. Для ДСП большой вместимости удельный расход в период расплавления составляет 375–385 кВт·ч/т, а КПД дуг — 0,67. Известно, что такой эффект в большегрузных печах получен за счет применения средств интенсификации плавления, повышения уровня шлака. В малотоннажных печах так же возможно применения средств интенсификации плавки и поднятие уровня шлака, но эти мероприятия, требуют глубокого анализа, т.к. в малых печах на первом месте стоит выпуск годного металла требуемой марки.

Известно из [1], что 10–20% энергии дуги проникает сквозь пустоты шихты и расходуется на нагрев футеровки. Это происходит при размерах загружаемой шихты от 200х150х150 мм до 800х500х500 мм [3]. Поэтому хорошим способом повышения эффективности ДСП малой вместимости будет применение шихты меньших размеров, до 200х150х100 мм. Лом аналогичных размеров применяется в Великобритании [4].

В результате применения мелкой шихты в ДСП вместимостью 0,5–12 т прогнозируется повышение КПД дуг до 0,6–0,63 и уменьшение удельного расхода электроэнергии в период расплавления до 425–600 кВт·ч/т. Это связано с уменьшением времени на расплавление шихты.

Литература

1. **Макаров А.Н.** Расчет и анализ взаимосвязи КПД и расположения дуг с электропотреблением в дуговых сталеплавильных печах малой и большой вместимости. Часть II. Расчет и анализ взаимосвязи расположения дуг, стен и электропотребления. *Металлург*, 2019, № 5, с. 21–27.
2. **Макаров А.Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014, 384 с.
3. **Сойфер В.М.** Выплавка стали в кислых электропечах. М.: Машиностроение, 2009.
4. *Электрометаллургические мини-заводы.* Протасов А.В., Пасечкин Н.В., Сивак Б.А. М.: Metallurgizdat, 2013, с. 21–52.

И.М. Кузьменко, студ.; рук. А.О. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Установки косвенного высокотемпературного индукционного нагрева широко применяются в современной промышленности, особенно в химической промышленности для проведения высокочастотных процессов синтеза карбидных материалов. Неотъемлемой частью электротехнологической установки является преобразователь частоты (ПЧ), который может быть выполнен с различной топологией: инвертор тока (ИТ) и инвертор напряжения (ИН) рис.1 [1].

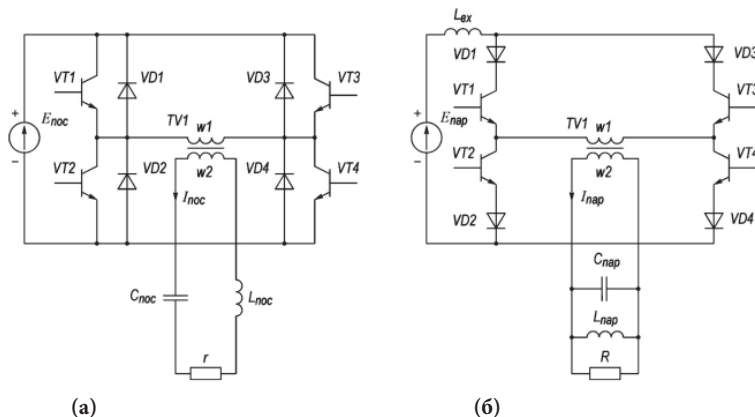


Рис. 1. Преобразователь частоты на основе инвертора напряжения — (а), на основе инвертора тока — (б)

Несмотря на большое количество работ, посвященных резонансным инверторам тока, ряд вопросов, связанных с их проектированием и эксплуатацией, остается нерешенным.

По результатам исследований разработана математическая модель, с учетом принятых допущений, отражающая процессы в исследуемой схеме резонансного инвертора тока.

Литература

1. Шамов А.Н., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. — Изд. 2-е доп., «Машиностроение» Ленинградское отделение., 1974. — 71 с.

Д.Ф. Лисейцев, студ.; рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА И ЗАКАЛКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Индукционный нагрев используется в разных технологических процессах, в том числе, и в процессах поверхностной закалки деталей, при этом возникающие большие градиенты температур приводят к возникновению значительных термических напряжений, которые следует учитывать при выборе параметров режима нагрева [1, 2].

Ускоренный нагрев под поверхностную закалку позволяет получить мелкозернистую структуру металла и остаточные сжимающие напряжения на поверхности деталей, устранить максимумы остаточных растягивающих напряжений после закалки вблизи закаленного слоя, повысить износостойкость деталей в несколько раз.

Существуют разные способы нагрева поверхностных слоев металлических изделий с использованием лазерного, электронно-лучевого и плазменного нагрева, а также индукционного с применением токов повышенной и высокой частоты. При индукционном нагреве осуществляется ввод энергии в деталь на глубину, примерно соответствующую глубине проникновения электромагнитной волны, что снимает ограничения, существующие при поверхностном нагреве другими способами.

При обычной индукционной закалке деталей применяются удельные поверхностные мощности нагрева $(0,5 \div 5)$ кВт/см² и скорости нагрева менее 10⁴ К/с с последующим принудительным охлаждением водой, маслом и другими специальными закаливающими средами.

С использованием программы Induction systems, в которой используется метод конечных элементов, проведены расчетные исследования режимов индукционного нагрева и охлаждения под поверхностную закалку цилиндрических деталей из ферромагнитной стали с диаметрами 30–65 мм на разных частотах тока.

Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы при разработке режимов скоростного нагрева под поверхностную закалку в различных отраслях машиностроения.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. — 284 с.
2. **Абрамов В.В.** Остаточные напряжения и деформации в металлах. М. Машгиз. 1963. — 355 с.

Н.В. Песков, студ.; рук. А.Р. Лепешкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ЗАГОТОВОК И ИЗДЕЛИЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ

В данной работе с использованием программы Induction systems рассчитываются и исследуются ускоренные режимы сквозного индукционного нагрева, теплового и напряженного состояния заготовок круглого сечения с учетом влияния параметров электромагнитного поля и свойств материалов [1].

Процесс ускоренного индукционного сквозного нагрева металлических заготовок предлагается проводить по усовершенствованной методике в несколько этапов для повышения производительности установок индукционного нагрева с учетом термических напряжений в нагреваемых заготовках и изделиях в технологических процессах под обработку давлением. Число этапов зависит от режима нагрева, свойств материала и формы сечения изделий.

В соответствии с усовершенствованной методикой нагрева на первом этапе осуществляется нагрев с максимальной удельной поверхностной мощностью до момента достижения допустимого максимального перепада температуры по сечению заготовки. На втором этапе мощность нагрева понижается для обеспечения допустимого перепада температуры до момента достижения максимальной расчетной температуры нагрева поверхности заготовки. На третьем этапе с требуемой минимальной мощностью температурное поле заготовки поддерживается с заданной точностью.

При рациональном выборе режима по усовершенствованной методике достигается максимальное ускорение нагрева заготовок с учетом ограничений на термические напряжения. Расчетные исследования проведены на примере нагрева заготовок с диаметрами 50–70 мм из аустенитной стали на частотах тока 2000–4000 Гц.

При замене одноэтапного нагрева усовершенствованным режимом нагрева в три этапа снижается общее время нагрева заготовок и в результате повышается производительность установки индукционного нагрева в 1.5–2 раза.

Литература

1. **Кувалдин А.Б., Лепешкин А.Р.** Скоростные режимы индукционного нагрева и термонапряжения в изделиях. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. — 284 с.

К.С. Котин асп.; рук. А.Б. Кувалдин д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НАГРЕВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ

Индукционный нагрев металлических изделий применяется для различных технологических процессов (плавка, термообработка, сушка покрытий и т.д.). Обычно при нагреве изделие располагается внутри охватывающего индуктора на направляющих, что имеет такие недостатки как износ направляющих, потери энергии в них, необходимость их охлаждения. Известны экспериментальные и теоретические работы отечественных и зарубежных авторов [1, 2], содержащие описание конструкции устройств для индукционной плавки металлов и их сплавов во взвешенном состоянии и методы расчета электромагнитных сил, действующих на металл.

Установлено, что применение индукционного нагрева позволяет более точно нагреть изделие до необходимой температуры, что повышает качество наносимого покрытия [1]

В данной работе исследуется возможность индукционного нагрева плоских металлических изделий (пластины, ленты) во взвешенном состоянии. На рис. 1 показана электромагнитная (ЭМ) система, состоящая из индуктирующих проводов (1 и 3), расположенных под нагреваемой плитой (2) и над ней. Результирующая электромагнитная сила F уравнивает вес плиты G . В результате расчетов, выполненных в пакете *ELCUT*, для конкретной ЭМ системы рассчитываются значения электрических (силы, мощность, электрический КПД, коэффициент мощности) и тепловых (тепловые потоки, температура) величин. Максимальная масса материала в данной работе не превышает 500 г [3]. Принципиально возможно осуществить перемещение плиты во взвешенном состоянии за счет электромагнитных сил.

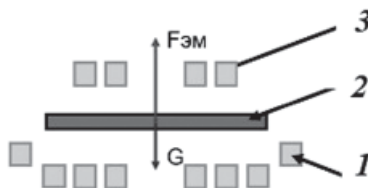


Рис. 1. Электромагнитная система

Литература

1. **Фогель А.А.** Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии. Л.: Машиностроение, 1989.
2. **Peşteanu O., Baake E.** Beitrag zur numerischen und experimentellen Untersuchung der elektromagnetischen Levitation flüssiger Metalle // "Workshop Electrotechnik" 06.-07. Okt. 2011.
3. **Spitans S., Baake E. and A. Jakovics A.** Large scale electromagnetic levitation melting of metals // Conference Paper, May 2016.

А.Ю. Соколов, соиск.; рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ВАННЕ МЕТАЛЛА МОЩНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВКИ СТАЛИ

В дуговых сталеплавильных печах (ДСП) тепловые потоки излучения дуг распределены по поверхности ванны металла неравномерно. Расчетами установлено, что тепловые потоки, падающие на участки ванны напротив работающих дуг, в 6–60 раз превышают тепловые потоки на участки ванны у откосов и между дугами, что приводит к неравномерному расплавлению шихты. Анализ распределения плотности потока теплового излучения дуг по ванне металла выполнен для печи ДСП-100 при различной высоте слоя шлака и длине дуг на основе законов теплового излучения газовых объемов [1, 2] с учетом коэффициента поглощения пылегазовой атмосферы печи.

Проведенными расчетами установлено, что с ростом заглубления дуг в шлак с 70 до 300 мм плотность потока теплового излучения дуг снижается в среднем в 1,6 раза по всей высоте стен печи. С ростом высоты слоя шлака доля теплового излучения дуг на стены и свод уменьшается в 1,6 раза, а на ванну металла и шлак — увеличивается в 1,6 раза, КПД дуг увеличивается также в 1,6 раза.

Расчеты показали, что с ростом заглубления дуг в шлак происходит перераспределение теплового излучения дуг между поверхностью ванны и поверхностью шаровых сегментов, образованных электродинамическими силами дуг в ванне металла и шлаке. С увеличением высоты слоя шлака тепловое излучение дуг на ванну уменьшается, а на поверхность шаровых сегментов увеличивается. За счет действия электродинамических сил дуги заглубляются в ванну и шлак, выбрасывают жидкий металл и шлак из шаровых сегментов, создавая благоприятные условия для перемешивания металла, шлака, интенсификации конвективного теплообмена, увеличения КПД дуг. В высокомошных ДСП при полном погружении дуг в шлак их КПД достигает максимального значения 78–80%. Вследствие интенсивного конвективного теплообмена шлака и металла в шаровых сегментах только малая часть тепла дуг идет на испарение металла и шлака, подавляющая часть тепла расходуется на расплавление шихты и нагрев ванны металла.

Результаты расчетов могут быть использованы для рационального расположения газокислородных горелок, рафинировочных кислородных горелок, инжекторов для вдувания углеродосодержащего порошка.

Литература

1. **Макаров А.Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014.
2. **Макаров А.Н.** Излучение газовых объемов и расчеты факела в топках // Электрические станции. 2018. № 4.

Д.К. Иванов, А.В. Крупнов, асп.;
А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, Тверь)

СРАВНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА СТЕНУ В ПЕЧАХ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

Данное исследование направлено на сопоставление тепловой нагрузки стен в высокомоощных печах постоянного (ДППТ) и переменного тока (ДСП) вместимостью 100 т. по высоте в лучепрозрачной и запыленной газовой атмосфере при одинаковых геометрических размерах.

Представленные на рис.1 результаты расчетов получены на основе методики изложенной в [1]. Расчеты произведены для ДППТ от одной дуги мощностью 54 МВт и для ДСП от трех дуг мощностью 18 МВт каждая.

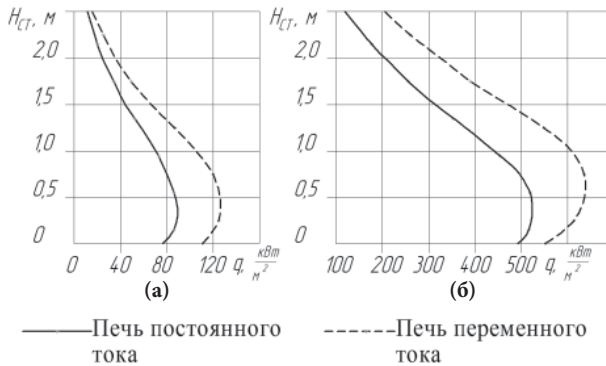


Рис. 1. Распределение плотностей потоков тепловых излучений от дуг по участкам стен в запыленной газовой атмосфере (а) при $k = 0,7$ и лучепрозрачной (б) газовой атмосфере при $k = 0$

Плотность теплового потока в запыленной среде в 1,4 раза и в лучепрозрачной среде в 1,2 раза больше у ДСП, т.к. расстояние от дуги до стены меньше на 0,7 м, чем у ДППТ. В ДППТ тепловая нагрузка стен по радиусу печи на каждой высоте одинакова, у ДСП имеет место наибольшее значение напротив дуг и наименьшее значение между дугами.

Полученный результат актуален при принятии решения о переводе печи переменного тока на постоянный ток.

Литература

1. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань, 2014. 384 с.

А.С. Булгаков, асп.; рук. М.Я. Погребисский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО КОСВЕННОМУ ПАРАМЕТРУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЕЙ В ВАКУУМНОЙ ПЕЧИ СНВЭ-1.3.1/16И5

Развитие машиностроительных и химических технологий, применение новых материалов требует использования для термических процессов высокотемпературных вакуумных печей сопротивления. [1]

В высокотемпературных (более 1700°С) электропечах сопротивления, где стойкость датчиков температуры весьма ограничена, целесообразно применение регулирования температуры по косвенным параметрам. В качестве такого параметра можно использовать удельное электрическое сопротивление материала нагревателя. Данный способ применим к печам, нагреватели которых изготавливаются из материала, имеющего выраженную зависимость удельного сопротивления от температуры. К числу таких материалов относятся, прежде всего, тугоплавкие металлы (V, Mo, Nb, Ta).

Прямое измерение удельного сопротивления невозможно, можно получить лишь активное сопротивление, как отношение действующих значений, активных составляющих тока и напряжения. Температура нагревателя рассчитывается по известной зависимости удельного электрического сопротивления материала нагревателя (вольфрама) ρ от температуры T . В свою очередь, удельное сопротивление определяется по формуле (1):

$$\rho = \frac{U_a}{I_a} \cdot \frac{\pi d^2}{4L} \quad (1)$$

где U_a , I_a — измеренные значения активных составляющих первых гармоник напряжения и тока. Таким образом, для расчета удельного сопротивления необходимо вычислить текущее значение диаметра нагревателя d , учитывая его уменьшение вследствие износа нагревателя в ходе эксплуатации. Разработанная математическая модель процесса износа нагревателей позволяет выполнить такой расчет. Для корректной оценки сопротивления нагревателей также необходимо знать значение сопротивления токоподводов к нагревателям печи.

Система регулирования температуры по косвенному параметру сопротивления нагревателей опробована на печи СНВЭ-1.3.1/16И5. При этом подтвердились работоспособность системы и адекватность математической модели, положенной в основу регулирования температуры электропечи по косвенному параметру электрического сопротивления нагревателей.

Литература

1. Лейканд М.С. «Вакуумные электрические печи» «Машиностроение» 1977 г.

*А.В. Молостова, студент, А.Н. Журкин, аспирант;
рук. проф., д.т.н. С.М. Нехамин,
доц., к.т.н. М.Я. Погребисский (НИУ «МЭИ»)*

СОГЛАСОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНЫХ АКТИВНО-ИНДУКТИВНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ ПУТЕМ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

В промышленности широко распространены однофазные активно-индуктивные нагрузки, для питания которых используется трехфазная сеть электроснабжения. Для симметрирования потребления электроэнергии чаще всего используется чередующееся по фазам подключение однофазных нагрузок. В тех случаях, когда это затруднительно реализовать, требуется использовать симметрирующее устройство. Такие устройства традиционно выполняются по трансформаторно-реакторной схеме.

Альтернативой трансформаторно-реакторным схемам являются решения, связанные с применением импульсных преобразователей электроэнергии. Важным преимуществом таких решений является отсутствие затрат большого количества дорогостоящих материалов (медь и трансформаторное железо). Регулирование режима нагрузки при этом не требует использования коммутационной аппаратуры, снижающей надежность. Кроме того, использование импульсных преобразователей позволяет в ряде случаев, кроме повышения энергетической эффективности, достигнуть и положительного технологического эффекта.

Целесообразно использование импульсного преобразователя напряжения для питания индукционно-резистивной системы нагрева протяженных трубопроводов (ИРСН). Этим обеспечивается симметрирование нагрузки и компенсация неактивных составляющих мощности. Особенно высока актуальность повышения энергоэффективности электрообогрева трубопроводов, проложенных в районах Сибири и Крайнего Севера.

Предложенное решение не только обеспечивает согласование энергетических характеристик однофазных активно-индуктивных нагревателей с питающей сетью, но и открывает возможности повышения КПД всей системы за счет оптимизации глубины проникновения электромагнитной волны, возникшей при протекании переменного тока по проводнику, находящемуся внутри стальной трубки (скин-нагревателя), проложенной по поверхности трубопровода, в стенку трубки. Такая оптимизация в случае питания проводников от импульсного преобразователя напряжения может быть обеспечена путем выбора соответствующей частоты переменного тока либо применением полигармонического тока.

Секция 27
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ
Electric vehicles

Председатель секции:

к.т.н., с.н.с. Глушенков Владимир Александрович

Секретарь секции: Саможей Ольга Станиславовна

М.С. Цымбровская, студ.; рук. В.Е. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНТАКТНАЯ СИСТЕМА ТОКОСЪЁМА

Токосъём (или токоснимание) — процесс передачи электрической энергии от канализирующих ток устройств (коммуникаций) энергополучателям (токоприемникам), электрооборудованию ЭПС. Это понятие распространяется на любой вид неавтономного электротранспорта с любым способом токосъёма (контактного, бесконтактного, квазиконтактного).

При контактном способе токосъёма токопроводы могут иметь жесткую, полужесткую и гибкую конструкцию, а также специфические токосъемные или токоприёмные локальные узлы (точки).

При контактном токосъёме происходит непосредственный контакт токоприемника и канала передачи энергии — контактном проводом или рельсом, а в случае электробуса — разъемом для пантографа мачты зарядного устройства.

Надежность токосъёма определяется отсутствием повреждений, связанных с задержками транспорта предотвращением ущерба от них, т.е. с обеспечением безопасности движения. К экономичности токосъёма относится минимальный износ контактирующих элементов (проводов и пластин токоприемников, электродов и т.п.), т.е. ресурсосбережение дефицитных материалов (меди и т.п.). Энергосбережение при токосъёме — экономия электроэнергии на тягу поездов — осуществляется за счет снижения лобового сопротивления токоприемников. Экологичным токосъёмом может быть только без больших радио — и тепломех, шумовых воздействий и засорения почвы.

Технические требования к токосъёму — универсальность при достаточной простоте и надежности конструкции в эксплуатации в условиях низких температур. Необходим контроль за температурой в зоне контактов, защита контактов от налипания снега и намерзания ледяной корки при внешних осадках; обеспечение подъема контактов на требуемую высоту с контролем и возможностью автоматического регулирования усилия прижатия их к контактам станции зарядки.

Литература

1. **Ухина С.В.** Электроснабжение электроподвижного состава: учеб. пособие. — М.: «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. — 187 с.
2. 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. — 464 с.
3. **Иванов О.Н.** Исследование технических характеристик электробусов, как перспективных видов наземного пассажирского транспорта // Международный журнал перспективных исследований. — 2017. — № 4–2. — Т. 7.

Д.А. Бережнов асп.;
рук. Ю.М. Иньков, д.т.н., проф. (РУТ(МИИТ), Москва)

ВЫБОР СТРУКТУРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На тяговом подвижном составе ОАО «РЖД» наблюдается устойчивая тенденция, заключающаяся в переходе от коллекторных тяговых двигателей к асинхронным электродвигателям (АД), а также использование прямого микропроцессорного управления силовыми полупроводниковыми преобразователями.

Основным методом реализации частотного управления АД является использование преобразователей частоты с явно выраженным звеном постоянного тока [1].

Для регулирования скорости АД используется широтно-импульсное регулирование (ШИР) и широтно-импульсная модуляция (ШИМ) на несущей частоте [1, 2]. Системы частотного управления АД обеспечивают круговое электромагнитное поле во всем диапазоне регулирования скорости, обеспечивая более полное использование АД по мощности, повышая равномерность вращения и увеличивая КПД. Преобразователи частоты для трехфазных АД строятся на основе использования трехфазных инверторов напряжения и тока [2].

Для рекуперации энергии в первичную сеть (АД большей мощности) было принято решение в своем диссертационном исследовании использовать структуру с активным выпрямителем напряжения (рис. 1). Данный подход при разработке математической модели четырехуровневого АИН позволил решить следующие задачи в системе управления:

- стабилизировать выпрямленное напряжение на заданном уровне путем воздействия на амплитуду фазных токов сети;
- сформировать фазные токи сети, близкие по форме к синусоиде путем воздействия на напряжение управления;
- установить заданный коэффициент мощности сети (индуктивного, емкостного или равного единице) путем воздействия на напряжение управления.

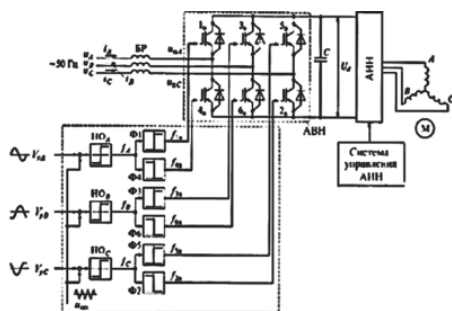


Рис. 1. Структура преобразователя частоты с активным выпрямителем

Литература

1. **Пронин М.В., Воронцов А.Г.** Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи. СПб.: Электросила, 2003, 172 с.
2. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: АCADEMA, 2006, 264 с.

С.А. Старовойтов, асп.; рук. В.А. Глушенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Предпосылкой исследования является сформулированная в [1] необходимость полностью исключить из эксплуатационного парка локомотивы с истекшим нормативным сроком службы за счет разработки и постановки на производство тягового подвижного состава (ТПС) нового поколения. Вектор научного исследования гармонизирован с рядом приоритетных направлений в области разработки и внедрения энергетически эффективного ТПС, определенных в стратегии [2].

Описаны основные положения энергосбережения в условиях эксплуатации железнодорожного транспорта. Показаны методы и средства экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Описан ряд технических решений, реализация которых позволит обеспечить повышение энергетической эффективности функционирования оборудования электровозов [3].

Рассмотрены вопросы качества потребляемой электрической энергии из контактной сети. К рассматриваемым энергетическим показателям электровозов переменного тока относится коэффициент мощности (λ). На основе результатов испытаний приведено влияние внедрения регулируемых компенсаторов реактивной мощности для электровозов переменного тока с плавным зонно-фазным регулированием напряжения ТЭД (2ЭС5К «Ермак») на значение реализуемого электровозом коэффициента мощности.

В условиях постоянно растущих тарифов на поставку электрической энергии для стабильного развития локомотивного комплекса вопрос применения передовых технологий в области энергетической эффективности железнодорожной техники становится наиболее актуальным.

Литература

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года.
2. Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» на перспективу до 2030 года.
3. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / В.А. Гапанович, В.Д. Авилов, Б.А. Аржанников [и др.]; под ред. В.А. Гапановича. — М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. — 620 с.

*М.С. Горбунов, студ.;
рук. О.С. Саможей ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Век цифровизации наступает огромными семимильными шагами, трактуя новые правила поверх старых. Чтобы идти в ногу со временем, необходимо строить больше современного подвижного состава, который в свое время потребляет больше тока, а значит, возрастают нагрузки на тяговые подстанции. Проблемы требуют современных решений, а значит, возникает необходимость в создании технической базы для автоматизированного проектирования электротяговых подстанций, а также улучшение существующих.

На данный момент в Москве более 180 тяговых подстанций и практически все требуют модернизации. Выведение их не представляется возможным ввиду большой нагрузки на тяговую сеть, поэтому необходимо производить модернизацию поэтапно, без перегрузки тяговой сети. Наилучшим выходом было бы введение временных модульных тяговых подстанций, эта необходимость помогла бы быстрее производить капитальный ремонт подстанций и сократить период капитального ремонта. Перед модернизацией обязательно должны производиться электрические расчеты, это нужно для того, чтобы узнать, где точно необходим срочный ремонт, а где он не требуется, но в очередь по модернизации все равно необходимо включать. Под улучшением подразумевается глубокая замена старого оборудования на новое: тяговые трансформаторы, преобразовательные агрегаты, шкафы управления и распределительных устройств тяговых подстанций. Для упрощения многих операционных задач связанных с проектированием новых и модернизацией старых тяговых подстанций, необходимо создание абсолютной новой базы, где все расчеты будут производиться автоматически по заданным электрическим схемам, что в свою очередь упростит и ускорит решение задачи на этапе электрических расчетов. По итогу должна получиться современная модель автоматизированных электрических расчетов с подробными выводами.

Литература

1. 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. — 464 с.
2. **Савина Т.И.** Методические указания к курсовому проектированию по курсу тяговые подстанции городского электрического транспорта / Савина Т.И., Чибисов А.Н., Осипов В.Е. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1986. — 52 с.

А.М. Смирнов, студ.; рук. В.С. Гарбузюк, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ПУСКОВОЙ СИЛЫ ТЯГИ ДЛЯ МАНЕВРОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

В эксплуатации электропоездов существует проблема, связанная с маневровыми перемещениями. Подвижной состав имеет значительную пусковую силу тяги, вследствие чего за пройденный путь перегона осуществляет большое количество циклов движения «тяга-выбег», что приводит к повышенному износу контактной аппаратуры. Для снижения пусковой силы тяги предлагается осуществить ослабление возбуждения тяговых двигателей, путем шунтирования резистора к цепи якоря [1].

Способ предполагает уменьшение тока возбуждения при троганиях и дальнейшем разгоне. При малых скоростях, когда ЭДС машины мала ток якоря возрастет незначительно, однако значительно уменьшится поле возбуждения, в результате чего суммарное поле тяговых машин ослабевает, и тем самым достигается уменьшение пусковой силы тяги.

Преимущества: не требуется применение сложной аппаратуры, цепи не занимают большого пространства, управление простое, все необходимые элементы в составе схемы уже имеются, что используется далее при разгоне, теоретически возможно уменьшить пусковую силу тяги в 3–4 раза, уменьшается вероятность боксования.

Недостатки: ограниченность диапазона регулирования ослабления возбуждения примерно до 18,5%, дискретность в управлении и недоиспользование тяговых машин, задержка трогания, из-за переходного процесса, связанного с измененной индуктивностью двигателей. При наибольшей степени ослабления поля может не выполняться критерий нагрева тягового электрооборудования, поскольку имея меньшую силу тяги состав будет двигаться в режиме тяги большее время. Мощность, потребляемая блоками резисторов при ослабленном возбуждении, как и полная мощность электропривода в данном случае больше, чем при полном возбуждении тяговых двигателей.

Реакция якоря проявит себя незначительно, поскольку основная часть напряжения приложена к пусковым резисторам, но также и потому что состав движется с малыми скоростями.

Литература

1. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович и др.], под общей редакцией М.А. Слепцова. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 464 с.

Н.С. Голубев, студ. О.С. Саможей, ст. пр. (НИУ «МЭИ»)

КАЧЕСТВО ЭНЕРГИИ И ВЛИЯНИЕ НЕ ТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Современная жизнь человека тесно связана с транспортом. Мы используем его для перемещения на дальние и ближние расстояния, для доставки различных грузов. Транспорт постоянно развивается, на смену паровым машинам пришли составы с электродвигателями, широко начала использоваться электрическая тяга. На электрическом транспорте использовался только постоянный ток, а электростанции вырабатывали переменный, поэтому появилась необходимость сооружать преобразовательные подстанции.

Тяговые подстанции являются неотъемлемой частью системы электроснабжения электрического транспорта. Тяговая подстанция — это электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электрической энергии для питания транспортных средств на электрической тяге через контактную тяговую сеть.[1]

Тяговые подстанции классифицируются по роду тока — постоянного и переменного тока; по назначению — магистрального транспорта, метрополитена, городского электротранспорта (трамвайные, троллейбусные и смешанные); по схемам присоединения к сети внешнего электроснабжения — опорные, промежуточные, конечные; по системе электроснабжения — централизованного (многоагрегатные подстанции, резерв осуществляется по числу преобразовательных агрегатов) и децентрализованного (однагрегатные подстанции, резерв осуществляется по мощности преобразовательных агрегатов). Внешнее электроснабжение, состав оборудования тяговой подстанции, система питания тяговой сети в значительной мере зависит от территориального расположения подстанции, трассы трамвайной и троллейбусной линии, требуемой мощности и выбора системы резервного электроснабжения контактной и рельсовой сети.

Помимо питания транспортных средств на тяговой подстанции присутствуют не тяговые потребители электрической энергии. К ним относятся питание цепей управления, сигнализация, освещение, отопление, моторная нагрузка подстанции. Энергию для собственных нужд тяговой подстанции получают от трансформатора собственных нужд через шины собственных нужд.

Литература

1. 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.

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: Локтионов Олег Александрович

И.А. Кузнецова, студ.; рук. А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОВЕРКАХ РОСТРУДА В СВЯЗИ С РЕФОРМИРОВАНИЕМ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В рамках масштабной реформы сферы контрольно-надзорной деятельности принят Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ, устанавливающий новый порядок организации и осуществления государственного и муниципального контроля [1].

В работе рассмотрены изменения в деятельности РОСТРУДА, связанные со вступлением в силу данного закона. Основные нововведения связаны с приоритетом профилактических мероприятий и применения риск-ориентированного подхода в контрольно-надзорной деятельности.

Закон устанавливает большой выбор средств и механизмов для проведения профилактической работы. В число профилактических мер входят: информирование, обобщение правоприменительной практики, меры стимулирования добросовестности, объявление предостережения, консультирование, самообследование, профилактический визит [1].

В рамках самообследования организации необходимо проводить внутренний аудит. Внутренний аудит — это одно из доступных средств, которое помогает работодателю контролировать состояние условий труда на предприятии и каждом отдельном рабочем месте. В результате аудиторской проверки руководитель предприятия получает достоверную информацию, составляет внутренние статистические данные о нарушениях охраны труда, получает отчет об эффективности работы [2]. Внутренний аудит целесообразно проводить с использованием специально разработанных чек-листов, учитывающих специфику отдельных подразделений.

Таким образом, если отдел охраны труда будет регулярно проводить внутренний аудит, анализировать результаты и исправлять нарушения, то это поможет улучшить состояние условий труда на предприятии, а также позволит подготовиться к внешним проверкам в сфере охраны труда, которые осуществляются с помощью государственного контроля, а также избежать выездных проверок и инспекционных визитов.

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. **Крахмальникова И.С.** «10 этапов внутреннего аудита по охране труда» [Электронный источник] / URL: <https://e.otruda.ru/518351>

А.А. Павлова, студ.; рук. Е.В. Федорова, доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СОНЛИВОСТИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОТРУДНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Качество сна напрямую воздействует на самочувствие человека в течение дня. При наличии дневной сонливости наблюдается снижение психологической (когнитивная функция) и физической активности. Что, в свою очередь, приводит к снижению работоспособности сотрудников образовательного учреждения и самих учащихся. Если рассматривать лаборантов, людей, которым приходится работать с опасным оборудованием, то здесь плохое самочувствие, вызванное сонливостью, может создать угрозу жизни и здоровью. Поэтому особенно важно выявлять проблемы со сном на ранних этапах их возникновения и доносить базовые принципы гигиены сна и рекомендации по профилактике дневной сонливости.

Основой научной исследовательской работы является разработка системы анкетирования по выявлению дневной сонливости для сотрудников и студентов НИУ МЭИ. Разработанная анкета содержит 68 вопросов по шести разделам, включая разделы с основной информацией о респонденте и дополнительные вопросы. При создании анкеты использовались общепринятые системы оценивания качества сна и дневной сонливости, такие как: шкала сонливости Эпворта, Питтсбургский опросник, шкала клинической оценки сонливости [1], шкала тревоги и депрессии. Для выделенной группы студентов, состоящей из 20 человек, был предложен тест символьно-цифрового кодирования с целью получения дополнительных статистических выводов о влиянии сонливости на когнитивную функцию. Анкета была апробирована на 67 студентах и 20 преподавателях.

Результатом работы стала анкета, которая качественно оценивает дневную сонливость с учетом выраженных физических и психических ее проявлений. Проведенный дискриминантный анализ показал, какое влияние оказывают оцениваемые параметры на возможность возникновения травмы у человека. Также даны рекомендации по организации учебного процесса при наличии сонливости у сотрудников и учащихся учебного заведения и рекомендации по регуляции сна и бодрствования.

Литература

1. **Г.В. Ковров, С.И. Посохов**, Создание и апробация шкалы клинической оценки сонливости // Российский неврологический журнал. 2020; 25(1): 38–42.

*С.А. Андреева, студент; рук. В.С. Малышев, д.б.н., проф.,
Е.В. Федорова, к.м.н., доц.; А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТУДЕНТОВ

Высокий уровень работоспособности студентов является важным фактором для эффективного усвоения знаний. Сложным периодом образовательной деятельности, в процессе которого в максимальной степени создаются условия для повышенного напряжения студентов, могут рассматриваться аудиторские занятия, которые содержат многообразные формы стрессовых ситуаций, протекающих в большинстве случаев в условиях дефицита времени. Психосоциальные риски снижают интеллектуальную работоспособность студентов. При этом напряжение создает непостоянство длительностей дыхательных циклов, которые характеризуются параметром неравномерности ритма дыхания (НД).

Параметр НД представляет среднюю относительную разность продолжительностей смежных респираторных циклов [1]. Для определения неравномерности ритма дыхания необходима оценка длительностей дыхательных циклов, которые устанавливаются методом компьютерной бронхофонографии при регистрации паттерна дыхания [2].

Практическое применение КБФГ осуществляется с помощью специально разработанного аппаратного комплекса — регистратора респираторных звуков. Поэтапный алгоритм реализации сканирования включает несколько этапов: 1) регистрация акустического портрета респираторного цикла для проведения детального анализа; 2) оценка интегральных количественных характеристик: акустического компонента работы дыхания, длительностей фаз респираторного цикла, 3) проведение сравнительного количественного анализа нескольких акустических портретов по оценкам длительности фаз респираторного цикла.

Таким образом, исследование параметра НД в условиях реальной деятельности дает возможность проводить оценку влияния производственной среды на психофизиологическое состояние студентов, непосредственно влияющее на умственную работоспособность, и позволяет снизить риск заболеваемости учащихся.

Литература

1. **Вагин, Ю.Е.** Неравномерность ритма дыхания как показатель эмоционального напряжения / Ю.Е. Вагин // Сеченовский вестник. — 2015. — № 2 (20). — С. 13–23.
2. **Малышев В.С., Федорова Е.В., Боровкова А.М., Кондратьева О.В.** Техногенное влияние экологической нагрузки на органы дыхания: учеб. — метод. пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2011. — 48 с.

С.Н. Добродеев, студ.;
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРПОРАТИВНЫХ ПРОГРАММ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

На протяжении последних десятилетий в Российской Федерации (РФ) не теряет актуальности задача по снижению производственного травматизма и профессиональных заболеваний. В Трудовом Кодексе РФ [1] установлена обязанность работодателя по обеспечению безопасных условий труда. Трудовым Кодексом установлено, что материальная ответственность работодателя наступает при наличии его противоправных действий и ущерба, причиненного данным поведением работнику.

В работе определены основные направления мероприятий по снижению травматизма и сохранению здоровья работников, к которым отнесены:

- создание эффективной системы управления охраной труда, направленной на предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- снижение профессионального стресса и уменьшение количества стресс-факторов;
- внедрение корпоративной культуры агитации здорового образа жизни;
- создание системы формирования лидеров в области безопасности труда;
- обеспечение государственных требований по охране труда, в том числе нормативных уровней воздействия вредных и опасных производственных факторов.

Сравнительный анализ корпоративных планов мероприятий и программ по снижению травматизма и сохранению здоровья работников показал, что наиболее перспективными с точки зрения масштабирования передового опыта являются мероприятия по повышению мотивации работодателя и работника на безопасный труд, а также развитие корпоративной системы здравоохранения и оценки профессиональной пригодности работника.

Литература

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ

Я.-С.С. Попова, студ.; рук. А.В. Мордвинова, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ И ХРАНЕНИИ ВОДНО-ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

В ходе ликвидации произошедшей в 2020 г. экологической катастрофы федерального масштаба при разгерметизации резервуара и проливе более 20000 т. дизельного топлива на ТЭЦ-3 АО «НТЭК» в районе г. Норильск Красноярского края, возникла проблема обеспечения безопасной перекачки и временного хранения огромного количества собранной водно-топливной смеси. Ликвидацию аварийных разливов пожаровзрывоопасных веществ необходимо проводить с учетом оценки возможности возникновения пожаров. [1] Опыт перекачки водно-топливной смеси из реки Амбарная показал, что существует проблема недостаточности нормативного технического регулирования обеспечения пожарной безопасности процесса перекачки смеси, а также способа хранения с применением полимерных эластичных резервуаров.

На сегодняшний день планы по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов разрабатываются в соответствии с Постановлениями Правительства РФ от 30.12.2020 № 2366 и от 31.12.2020 № 2451. Однако указанные нормативные акты не содержат требований по обеспечению пожарной безопасности, в связи с чем определенный интерес представляет поиск и анализ нормативных документов, регламентирующих требования к способам и средствам предотвращения пожаров и противопожарной защите при проведении рассматриваемых работ. Таким образом, расширяется объектная база для исследования и анализа имеющихся технических средств обеспечения безопасности при проведении различных работ, связанных с ликвидацией последствий разлива.

Процесс перекачки и временного хранения водно-топливных смесей характеризуется возможностью повторных утечек и возникновения возгораний. На основе проведенного анализа с учетом имеющихся нормативных требований и сведений научной литературы целесообразно разработать комплекс противопожарных мероприятий при проведении работ по ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов, чему будут посвящены дальнейшие исследования по заявленной проблематике.

Литература

1. Рекомендации по применению технических средств при ликвидации последствий разлива нефтепродуктов. М: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020.

М.А. Гитина, студ.; рук. О.А. Локтионов, к.т.н, асс. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММЫ КОРПОРАТИВНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ (WELL-BEING) НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время все большую актуальность приобретают новые решения в области производственной безопасности в связи с тем, что показатели травматизма и профессиональных заболеваний в России вышли на плато из-за исчерпания потенциала применения традиционных подходов. Сохранение населения, здоровье и благополучие людей, в том числе на рабочих местах, является одной из основных национальных целей развития России до 2030 года, а повышение эффективности инвестиций в человеческий капитал для удержания лучших кадров в отрасли и поддержания высокого уровня мотивации работников — одной из ключевых задач энергетической стратегии до 2035 года. Помимо отечественных нормативных документов все большее внимание предприятий энергетики направлено в сторону внедрения концепций “Vision Zero” — программы по достижению нулевого травматизма и “Well Being” — корпоративной программы благополучия персонала, направленной на защиту сотрудников от профессионального выгорания.

В случае с производственным травматизмом в отрасли электроэнергетики в различных странах наибольший вклад в структуру причин вносят организационные и психофизиологические причины [1], а технические наоборот имеют отрицательный тренд. Непосредственное влияние на снижение вклада данных причин в травматизм оказывает реализация программы Well-Being, но ее внедрение и постоянное совершенствование с учетом достигнутых результатов и обратной связи, полученной от работников, предполагает высокие трудовые, временные и финансовые затраты и требует привлечения дополнительных сотрудников [2].

Именно поэтому на энергетических предприятиях так необходимо создание программ корпоративного благополучия с принципами оценки вовлеченности работника, отслеживания его психофизиологического состояния и/или профессионального роста, методами контроля за трудовым процессом и наличием цифровых решений.

Литература

1. **Loktionov O.A.** Comparative analysis of injuries models and methods assessment in power industry with cause-and-effect relationship. 2020 REEPE IEEE. p. 1–4. DOI:10.1109/REEPE51337.2021.9388029
2. **Rath T., Harter J.** Well being: The Five Essential Elements. Gallup Press; 1st edition. 240 p.

А.К. БЫКОВСКИЙ, студ.;
рук. О.Е. Кондратьева, д.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ И ОПЕРЕЖАЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Безопасность на рабочем месте — важный аспект производственного процесса. Анализ производственного травматизма направлен на выявление коренных причин несчастных случаев и разработку мероприятий по их предотвращению. При проведении анализа могут быть использованы различные методики, основанные на применении количественных показателей травматизма [1].

Традиционно в России в качестве количественных показателей используются запаздывающие показатели, расчёт которых основан на ретроспективных данных о несчастных случаях. Однако существует опережающие индикаторы, которые ориентированы на процесс и являются показателями деятельности, предполагающей улучшение [2]. В работе проведен сравнительный анализ двух видов показателей травматизма для совершенствования профилактики производственного травматизма на предприятиях электроэнергетики.

Результаты сравнения показывают, что ключевым отличием двух групп показателей является характер конечного результата. Запаздывающие показатели эффективны только для анализа уже реализованных мероприятий по снижению травматизма и не предоставляют достаточной информации для предотвращения будущих аварий, а опережающие нацелены на выявление непредвиденных аварийных случаев и являются упреждающей мерой. Использование как опережающих, так и запаздывающих индикаторов в области безопасности труда как взаимодополняющих друг друга позволит проводить более полный анализ производственного травматизма и вырабатывать решения по его снижению на всех временных интервалах.

Литература

1. **Tingvall, Claes & Haworth, Narelle** (1999) Vision Zero — An ethical approach to safety and mobility. In 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond 2000, 1999-09-06 — 1999-09-07.
2. **Loktionov O.A.** Comparative analysis of injuries models and methods assessment in power industry with cause-and-effect relationship. 2020 REEPE IEEE. p. 1–4. DOI:10.1109/REEPE51337.2021.9388029

Н.М. Шабалин, студент; рук. В.Т. Медведев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ АКУСТИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В соответствии с Государственным докладом Минприроды России «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году», на сегодняшний день из всех физических факторов, увеличивающих уровни риска здоровья населения, ведущее место занимает шумовой физический фактор [1]. Отмечается непрерывное повышение шумового фона селитебных территорий, что является серьёзной проблемой [2].

Многообразие источников шумового загрязнения селитебных территорий требует углубленного подхода к обеспечению требуемых акустических условий. Необходимо учитывать влияние внешних источников шума на здания и сооружения. Спектры излучаемого этими источниками шума имеют широкополосный характер с наличием низкочастотных составляющих. Такое шумовое загрязнение может проявляться в негативном воздействии на организм человека.

В данной работе был проведён анализ архитектурно-планировочных и строительно-акустических методов снижения акустического воздействия на селитебные территории. В работе было проанализировано выражение звуковой мощности автотранспорта, были рассмотрены варианты применения строительно-акустических средств, а также методы снижения структурного шума на объекте шумозащиты.

В результате работы на основе проведённого анализа были выведены наиболее эффективные и реалистичные методы снижения шума механического происхождения у автотранспорта, такие как уменьшение коэффициентов передачи и излучения звуковой энергии. Было предложено применение шумозащитных экранов и полос озеленения, эффективность которых была подтверждена расчётами. Также были предложены методы улучшения акустических характеристик на объекте шумозащиты за счёт увеличения звукоизоляции стен, потолков, окон и дверей.

Литература

1. **Государственный доклад** «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» / М.: Минприроды России; НПП «Кадастр» — 2019. — 844 с.
2. **Васильев А.В.** Шумовая безопасность урбанизированных территорий. [Текст] / Васильев А.В. — Известия Самарского научного центра РАН. — 2014. — Т. 16. — № 1. — С. 299–305.

*В.В. Гайфулин, студ.; Д.Р. Хорошавцев, асп.;
рук. А.А. Мочалов, ст. преп. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

СОЗДАНИЕ АСПИРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Концепция устойчивого развития современных циклов производства невозможна без увеличения безопасности условий труда, в том числе повышения качества отработанного воздуха. Качество воздуха определяется на основании сравнения концентраций вредных веществ с нормами предельно допустимых значений в соответствии с требованиями СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и (или) требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания».

Изготовление аспирационных систем с применением аддитивных технологий предоставляет возможность внедрения сложных газодинамических узлов в конструкцию без потери рентабельности производства, что в свою очередь позволяет добиться более эффективной очистки газового потока при небольших габаритах и мощности. Исходя из этого, целью работы стало создание аспирационной системы циклонного принципа действия заданной производительности с оптимальными показателями степени очистки, газодинамических потерь и габаритных размеров (рис. 1).

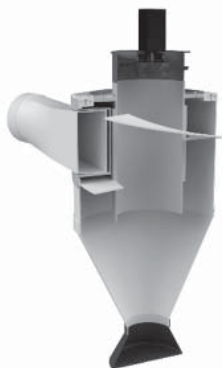


Рис. 1. Модель проектируемой аспирационной системы

Для экспериментального определения эффективности очистки воздуха в качестве твёрдой мелкодисперсной пыли были выбраны частицы алюминиевой стружки со средним медианным диаметром 50 мкм и частицы диоксида кремния со средним медианным диаметром 25 мкм. При объемном расходе 141,4 м³/ч степень очистки воздуха от частиц диоксида кремния составила 98%. В свою очередь при аспирации металлической стружки эффективность достигает значения 97,5%, что более чем удовлетворяет всем нормам по охране труда.

В.А. Хомякова, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ) ПОД НАВЕДЁННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Работы на линиях под наведенным напряжением (НН), которые проходят вблизи действующих ВЛ, относят к работам с повышенной опасностью, так как возможно поражение персонала наведенным напряжением и получение электротравм.

Порядок и метод проведения таких работ, как работы под наведенным напряжением (НН), регламентируются «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» [1], в соответствии с которыми возможно применение безопасного метода проведения работ на ВЛ под НН — заземление отключенной линии на рабочем месте. Расчетная оценка НН установила, что заземление в одной точке не всегда обеспечивает безопасность выполнения работ для персонала, обслуживающего ВЛ [2].

Анализ нормативных документов показал, что обязательные требования для повышения безопасного выполнения работ на отключенных ВЛ:

- соблюдение организационных и технических мероприятий при работах под наведенным напряжением, оценка достаточности принятых мер по безопасности на рабочем месте,
- работа по проектам производства работ (ППР) на выполняемую работу по наряду-допуску.

Во многих случаях безопасность работ персонала можно повысить, если отключенную ВЛ заземлять на концах и при этом электробезопасность обеспечивать защитным заземлением, используя на рабочем месте заземлитель с таким сопротивлением R , которое обеспечит снижение наведенного напряжения ниже предельно допустимого значения $U_{\text{пр}} = 25 \text{ В}$ [1].

Применение такого защитного заземления позволит отказаться от использования ненадежных методов безопасного производства работ под НН или упростить выполнение работ по ППР за счет исключения некоторых операций по обеспечению электробезопасности персонала.

Литература

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 № 903н (ПОТЭЭ).
2. **А.В. Горшков, И.В. Королев, О.С. Щербачёва** Применение защитного заземления для обеспечения электробезопасности проведения работ на ВЛЭП, находящейся под наведенным напряжением // Вестник МЭИ. № 4 (2021)

А.А. Афанасьева, студ.; рук. И.В. Королев, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА ПРИ КОСВЕННОМ ПРИКОСНОВЕНИИ

Электронасыщенность современного производства обуславливает электрическую опасность, источником которой являются электрические сети, электрифицированное оборудование и электроинструмент. Исходя из этого, основная проблема электробезопасности — уменьшение электротравматизма является актуальной и по сей день.

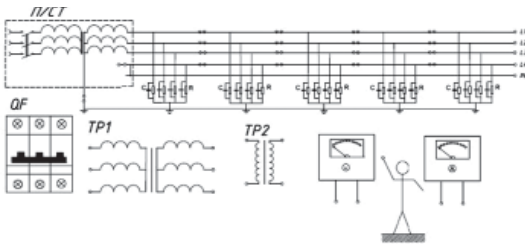


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Защитное электрическое разделение цепей является мерой защиты, используемой для защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1000 В [1]. При проведении лабораторных исследований студенты смогут изучить принцип работы данного метода защиты и определить его эффективность на основе проведенных экспериментов. Схема стенда представлена на рисунке.

В работе был произведен анализ существующих мер защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1000 В. Защитное электрическое разделение цепей является одним из важных и широко применяемых методов, так как повышает электробезопасность при работах в помещениях с повышенной опасностью [2]. Следовательно, создание лабораторного стенда является актуальным для его внедрения в курс электробезопасности.

Результатом работы является электрическая схема лабораторного стенда, разработанные меры по технике безопасности, методические указания по проведению лабораторных экспериментов, расчетов и построения зависимостей.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. — 7 изд. — М.: НТБЦПБ, 2012.
2. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

*А.С. Добровольская, студ.;
рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ESG-СТРАТЕГИЙ В РОССИЙСКИХ КОМПАНИЯХ

В Российском информационном поле тема ESG-инвестирования последние несколько лет набирает все большую популярность. При данном подходе инвестирования наряду с финансовым и производственным анализом компании во внимание принимаются экологические, социальные и корпоративно-управленческие данные компании (Environmental, Social & Governance, ESG).

В работе рассмотрено состояние российских компаний на рынке ESG-инвестирования. При анализе текущего положения дел было выявлено существенное отставание отечественных организаций от зарубежных конкурентов. Данный фактор обусловлен отсутствием достоверной и полной информации об экологических и социальных воздействиях компаний, а также низким уровнем информированности российских инвесторов [1].

Однако несмотря на то, что стратегии набирающего популярность во всем мире подхода к инвестированию лишь зарождаются в России, интерес отечественных компаний постепенно растет и на рынке с каждым годом появляются лидеры, активно использующие в своей политике ESG-стратегии. На основании анализа данных рейтинговых агентств установлены лидирующие области российского рынка, внедряющие принципы ответственного инвестирования: области драгоценных металлов, нефтехимии, а также интегрированные газовые компании.

Наиболее успешным на сегодняшний день примером активного участия инвесторов в деятельности компаний была выявлена масштабная инициатива, нацеленная на снижение объемов выброса парниковых газов.

Результаты исследования показывают, что ESG-повестка влияет на традиционную форму деятельности компаний, вынуждая их вкладываться в обновление производства. Рост запроса на минимизацию негативного воздействия деятельности компании на окружающую среду не только со стороны инвесторов и потребителей продукции, но также и изнутри самой организации, связанной с пониманием важности влияния экологических рисков на эффективность и устойчивость производства в долгосрочной перспективе, позволяет сделать вывод о том, что ESG-стандарты постепенно становятся главным трендом развития на ближайшие годы.

Литература

1. **Вострикова Е.О., Мешкова А.П.** ESG-критерии в инвестировании: зарубежный и отечественный опыт // Финансовый журнал. 2020. № 4.

А.М. Некрасов, студ.; рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ МЭИ)

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УГЛЕЙ И ПРОДУКТОВ ИХ СЖИГАНИЯ

Основное твердое топливо ТЭС — бурый и каменный уголь, всегда содержит в своем составе различное количество естественных радионуклидов (ЕРН). Согласно исследованиям, проводимых с 1970-х годов на месторождениях СССР, в крупнейших бассейнах присутствуют целые пласты с повышенным содержанием ЕРН [1]. Однако в настоящее время радиационный контроль производится в основном в отношении золошлаковых отходов ТЭС.

Современное приборное обеспечение представляет готовые решения для создания радиометрического контроля с учетом принадлежности угольных месторождений и ТЭС к предприятиям первой категории, требующей непрерывного приборного контроля источников негативного воздействия. Ведение учета измерений возможно сотрудниками экологической службы предприятия, прошедшими соответствующее обучение и повышение квалификации.

Разработанная система радиационного контроля углей и продуктов их сжигания включает в себя: двухступенчатую систему контроля на месторождениях с повышенным содержанием ЕРН с наличием непрерывного беспробоотборного первоначального контроля на станциях РКС и пробоотборного контроля с проведением уточняющих измерений в лаборатории на территории разрезов; пробоотборный контроль удельной радиоактивности золы, измерение радиационного фона на территории СЗЗ ТЭЦ и контроль золошлаковых отходов с помощью пробоотборного радиометра [2].

Итогом работы является комплексная система радиационного контроля углей и продуктов их сжигания с повышенным содержанием естественных радионуклидов для управления качеством товарной продукции и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду для цепочки «угольный бассейн — электростанция — потребитель шлаковых отходов»

Литература

1. **Сидорова Г.П., Крылов Д.А.** Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М., 2015, № 7. — С. 369–376.
2. Рекомендации по приборному обеспечению дозиметрического и радиометрического контроля в соответствии с НРБ-99 и ОСПОРБ-99-2010. — Москва, 2013.

В.В. Черников, студ.; рук. М.С. Хвостова, к.г.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ

Для достижения цели контрольно-надзорных мероприятий — максимальное сокращение ущерба жизни и здоровью человека, материального ущерба граждан и организаций, необходимо разрабатывать и внедрять в государственное управление новые и современные механизмы оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности. Относительно новым методом организации и осуществления государственного контроля является риск-ориентированный подход.

Так, например, в результате проведённой в недавнем времени реформы контрольно-надзорной деятельности в МЧС был произведён переход к риск-ориентированному подходу организации надзорной деятельности, внедрение расчётного определения соответствия зданий и сооружений требованиям пожарной безопасности, а также определение наличия угрозы жизни и здоровья людей по установленным методикам, что позволило сократить количество плановых проверок на 39% по сравнению с 2016 годом и на 352% по сравнению с 2013 годом [1].

Внедрение риск-ориентированного подхода оказало значительное влияние на подконтрольные объекты и на представителей «малого» и «среднего» бизнеса. Применение риск-ориентированного подхода позволило снизить административные барьеры и издержки при осуществлении надзорной деятельности, оптимизировать бюджетные расходы и в целом положительно отразилось на результативности осуществления государственного пожарного надзора.

Данные меры с одной стороны позволили снять излишнее государственное регулирование и сделать более благоприятную обстановку для ведения бизнеса, сосредоточив основные силы и средства на более опасных объектах, а с другой стороны на длительный период вывели из сферы надзора многие объекты, а в некоторых случаях и вовсе исключили плановый контроль за объектами низкой категории риска, составляющих большинство объектов защиты. В связи с этим, например, наблюдалась естественная тенденция нарушений требованиям пожарной безопасности на объектах низких категорий риска. Предлагается одно из решений данной проблемы — внедрение дистанционных методов государственного контроля.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году» / М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021, 264 с.

*К.С. Моисеева, И.А. Бикташев, студенты;
рук. О.С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В СЕПАРАТОРЕ С П-ОБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Наличие нефтепродуктов в водоемах приводит к ухудшению экологической обстановки. В частности, уменьшается популяция рыб, млекопитающих, водоплавающих птиц и др. Первостепенной задачей при разливе является их локализация. Далее необходимо с применением известных методов: термического, механического, физико-химического и биологического удалить загрязнение. Однако, эффективность данных методов не всегда является высокой. Поэтому задача повышения эффективности разделения водонефтяной эмульсии является актуальной.

Авторами работы было разработано устройство, которое представляет собой ряды сепарационных элементов, заключенных в прямоугольный корпус. Разделение водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты в устройстве происходит за счет возникновения центробежных сил [1–3].

В данной работе было исследовано устройства с П-образными сепарационными элементами.

Результаты исследований показали, что устройство с П — образными сепарационными элементами разделяют водонефтяную эмульсию с эффективностью 98,3% при ее следующих параметрах: начальной температуре от 30 до 75°С и исходной плотности от 848 до 996 кг/м³. При этом можно отметить высокую скорость движения водонефтяной эмульсии внутри блока с сепарационными элементами в среднем которая была равна 1,7 м/с в местах сужения между П-образным элементами.

Литература

1. **Мадышев И.Н., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Данг Г.Р., Бадретдинова Г.Р.** Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2020. — Т. 24. — № 6 (155). — С. 1232–1242.
2. **Галимова А.Р., Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Харьков В.В.** Сепарационное устройство с соосно расположенными трубами для разделения водонефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. — 2021. — Т. 24. — № 3. — С. 50–54.
3. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Харьков В.В., Галимова А.Р.** Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами // Вестник технологического университета. — 2020. — Т. 23. — № 7. — С. 61–64.

М.С. Петров, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.с.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО АКТУАЛИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА

Статистика производственного травматизма должна способствовать разработке и принятию стратегических решений в сфере охраны труда. В статистике, в целях предотвращения несчастных случаев, важную роль играют такие деятельности, как сбор, учёт и предоставление достоверных данных о производственном травматизме и профессиональных заболеваниях на предприятии.

По официальной достоверной статистике можно фиксировать состояние системы охраны труда в целом, ведь отображение реальных причин несчастных случаев в статистике значительно для модернизирования предупредительных мер.

Статистические данные, которые были собраны ФСС, Рострудом и Росстатом, далеко не всегда сопоставимы, так как цели сбора этих данных различны. Динамика производственного травматизма со смертельным исходом в период с 2012 по 2020 гг. представлена на рис. 1 [1]. Также в работе будут проанализированы формы сбора данных этих ведомств.

В связи с этим необходимо привести данные к единому целому, что позволит реализовывать политику, направленную на совершенствование условий и охраны труда.

В данной работе предпринимается разработка концепции единой государственной автоматизированной подсистемы учета и анализа производственного травматизма, т.е. формирование единой базы данных.

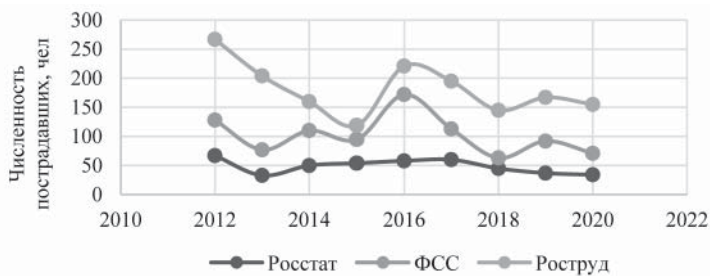


Рис. 1. Динамика производственного травматизма со смертельными исходами

Литература

1. **Минтруд России.** Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда. [Электронный ресурс] URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda>.

Т.Р. Дышкоков, студ.; рук. В.И. Пименов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Топливо-энергетический комплекс (далее — ТЭК) является базовой составляющей экономики любого развитого государства. Переоценить влияние ТЭК просто невозможно. Это обусловлено тем, что он обеспечивает топливно-энергетическими ресурсами домохозяйства, субъекты хозяйственной деятельности и страну в целом.

При анализе и прогнозе развития потенциала ТЭК учитывается широкий спектр факторов [2]. Отдельного внимания заслуживают вопросы обеспечения безопасности объектов ТЭК. Необходимо отметить, что в современных условиях энергетическая безопасность для России выступает одной из принципиально значимых составляющих национальной безопасности.

Одной из основных задач обеспечения безопасности объектов ТЭК является нормативно-правовое регулирование в области обеспечения защищенности этих объектов [3].

Многочисленные научные исследования в сфере защиты стратегически важных объектов страны, а также опыт органов, выполняющих государственный контроль над обеспечением безопасности доказывают, что метод защиты, включающий в себя совокупное использование технических и инженерных средств охраны и безопасности, является наиболее эффективным.

Анализ литературы показал, что действующее законодательство не обязательно рассматривать как конечный вариант нормативно-правового регулирования в области обеспечения безопасности объектов ТЭК. Необходим комплексный подход к созданию единой системы обеспечения безопасности указанных объектов от угроз любого характера. Такой подход даст положительный эффект от совершенствования нормативно-правового регулирования безопасности объектов ТЭК.

Литература

1. **Бородушко И.В., Шишкин С.Н.** Государственное регулирование деятельности топливно-энергетического комплекса России в условиях цифровизации // Бизнес, менеджмент и право. 2021. № 1 (49). С. 13–21.
2. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года (утв. Минэнерго России 14.10.2016 г.).
3. Федеральный закон от 25 июля 2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса».

М.А. Забелин, студ.; рук. М.С. Хвостова, к.г.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ НА ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Загрязнение техносферы радиоактивными веществами стало одной из проблем современного общества, вызванной как хозяйственной деятельностью человека, так и повышенным содержанием радона и других природных радионуклидов на отдельных территориях. Следует отметить, что в последние годы наибольший рост доз облучения на единицу населения происходит за счет роста числа медицинских исследований, проводимых с использованием ионизирующего излучения [1, 2].

После крупных аварий на радиоактивно-опасных объектах общество стало уделять большое внимание дозиметрическому контролю и оценке рисков от воздействия ионизирующего излучения. Однако для каждого отдельного вида облучения применяются свои методики [3]. Эти факты свидетельствуют о необходимости обобщения существующих методов с последующей разработкой методологии оценки радиационных рисков.

В проделанной работе предложена методология оценки радиационных рисков на определенной территории от воздействия ионизирующего излучения различной природы, позволяющая сравнить воздействие от отдельных источников ионизирующего излучения. Критериями оценки радиационных рисков являются: среднегодовая доза облучения человека и среднегодовые объемные активности радионуклидов в атмосферном воздухе, в продуктах питания, в питьевой воде и в почве. Проведен расчет радиационного риска на территории Красноярского края. Так как в регионе находится объект повышенной радиационной опасности, вокруг расположена зона наблюдения радиусом 20 км, в которой отмечены превышения значений удельной активности плутония — 239 и цезия — 137. Показано, что применение единой методологии облегчит задачу сравнения отдельных факторов риска, и определения наиболее опасных из них, что позволит точнее выстраивать приоритетные направления управления радиационными рисками.

Литература

1. **Барковский, А.Н.** Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 году: информ. сборник / А.Н. Барковский [и др.]. — СПб, 2019.
2. **Барковский А.Н., Братилова А.А., Кормановская Т.А., Ахматдинов Р.Р., Ахматдинов Р.Р.** Динамика доз облучения населения Российской Федерации за период с 2003 по 2018 г. Радиационная гигиена. 2019;12(4):96–122.
3. **В.С. Репин** «Развитие методологии оценки радиационного риска в системе социально-гигиенического мониторинга» [Электронный доступ] URL.: <http://elib.sfu-kras.ru>

Н.А. Демина, студ.; рук. П.В. Голов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ АВАРИЙНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Сегодня проблемы теплоэнергетики занимают одно из первых мест в мире по значимости и сложности решения. Многие страны, стремясь свести проблемы теплоэнергетики к минимуму, активно переходят с централизованных на автономные системы теплоснабжения [1].

В последние несколько лет в России проблемы теплоэнергетики ощущаются особенно остро. Неэффективное использование топливных ресурсов, моральный и физический износ оборудования, недостаток квалифицированных кадров приводят авариям и огромным финансовым потерям, напрямую влияя на развитие нашей экономики в целом.

По оценкам специалистов отсутствие четкого плана дальнейшего развития теплоэнергетической отрасли приводит к дальнейшему ухудшению ситуации.

В статье рассмотрены проблемы аварийности в системе теплоэнергетики и их причины. Проанализированы данные о числе и характере аварий, динамика аварийности на поднадзорных Ростехнадзору объектах теплоэнергетики [2].

Выделены основные системные нарушения, такие как;

- не проведение технических освидетельствований тепловых энергоустановок, испытаний тепловых сетей и электроустановок, ревизий водоподготовительного оборудования и его наладки.
- отсутствие допуска в эксплуатацию в установленном порядке новых и реконструированных тепловых энергоустановок, отсутствие резервных источников снабжения электрической энергии.

На основании анализа основных наиболее часто встречающихся нарушений, выявленных в ходе проверок Ростехнадзора, предложены следующие мероприятия по снижению аварийности: использование современных подходов и технологий в изготовлении и ремонте оборудования, переход на альтернативную теплоэнергетику, поднятие престижа паспорта готовности объектов теплоснабжения к работе в осенне-зимний период.

Таким образом, в работе выявлена и обоснована необходимость повышения эффективности контрольно-надзорной деятельности, как одной из составляющих решения проблем теплоэнергетики в стране.

Литература

1. Доклад «Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014–2018 годах» Министерства энергетики Российской Федерации 2018 г. (открытые данные).
2. Сведения Ростехнадзора об авариях на поднадзорных объектах в 2017–2019 гг. (открытые данные).

Н.Э. Соболев, студ.; рук. А.В. Крупнов, ст. преп. (ТвГТУ, Тверь)

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЭКОЛОГИЮ

В настоящее время электромобили развиваются и становятся всё более популярными с каждым годом, так, например, в 2012 году было продано 12000, в 2015 — 430000, в 2020 — 3,24 млн. автомобилей. Традиционно электромобили рассматриваются как решение проблемы антропогенного изменения климата, но мало кто учитывает, что современное производство электроэнергии связано с огромными выбросами различных загрязняющих веществ в окружающую среду [1].

В связи с этим необходимо более подробно рассмотреть все аспекты производства, сравнить электромобили со «стандартными» автомобилями, а именно: рассчитать и проанализировать выбросы каждого на километр пути, учитывая производство топлива, его доставку, расход, рассмотреть текущую ситуацию с выбросами от производства электроэнергии в России, и процент возобновляемой энергетики.

Основные результаты исследования. При производстве компонентов электромобиля в среднем выбрасывается 53 тонны CO₂, тогда как для стандартных автомобилей этот показатель составляет около 37 тонн CO₂ [2], не говоря о переработке батарей. В рамках работы проведён сравнительный анализ характеристик большинства моделей на рынке и выявлено, что средний расход электромобиля — это 25 кВт·ч на 100 км и сопровождается выбросами 12457 г CO₂/100 км в окружающую среду. Автомобиль с двигателем внутреннего сгорания, с расходом 12 л на 100 км и с экологическим классом не ниже пятого, имеет выброс 12000 г CO₂/100 км [3]. Стоит отметить, что при уровне в 100% возобновляемой энергетики, выбросы CO₂ от электромобиля будут меньше выбросов «стандартного» автомобиля с расходом в 3 л на 100 км.

Электромобиль, исходя из приведённых данных, имеют немного больший углеродный след, в сравнении с «традиционным автомобилем», но с развитием «зелёной энергетики», автомобили с «двс» будут постепенно уходить в прошлое. Таким образом, электромобили могут послужить стимулом для развития безуглеродистых источников энергии.

Литература

1. **Ютт В.Е.** Электромобили и автомобили с комбинированной установкой. Расчет скоростных характеристик / В.Е. Ютт, В.И. Строганов. М.: МАДИ, 2016.
2. **GREET** Life-cycle model, ANL, 2020. Argonne, US: Argonne National Laboratories, Energy Systems.
3. **WP29-170-29** Method of stating energy consumption / informal document, 2016. [электронный ресурс]. URL: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2016/wp29/WP29-170-29e.pdf>

А.А. Сибгатуллина, студ.; рук. П.В. Росляков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЗАТРАТ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЗОЛОУЛОВИТЕЛЕЙ НА УГОЛЬНЫХ ТЭС

Теплоэнергетика является одной из отраслей промышленности с наибольшим негативным воздействием на окружающую среду (НВОС). В этой связи на российских угольных ТЭС в настоящее время внедряются наилучшие доступные и перспективные технологии золоудаления, рекомендованные в ИТС 38-2017 [1]. К ним относятся электрофильтры (ЭФ) и рукавные фильтры (РФ), обеспечивающие эффективность золоочистки дымовых газов в диапазоне 99–99,9% и более.

В связи с этим целью данной работы являлось сравнение технико-экономических показателей применения ЭФ и РФ на тепловых электростанциях, сжигающих основные российские энергетические угли, для выполнения нормативов выбросов золы в соответствии с ГОСТ Р 50831-95 [2].

В результате проведенных расчетных оценок были определены суммарные капитальные и эксплуатационные затраты на внедрение РФ и ЭФ за котлами ТЭЦ паропроизводительностью 420 т/ч и на блоках КЭС мощностью 300 МВт, работающих на Экибастузском, Ирша-Бородинском, Кузнецком углях и на антрацитовом штыбе (АШ). Суммарные затраты на внедрение РФ и их эксплуатацию в течение 15 лет для разных углей составили от 575,6 до 803,9 млн. руб. для котлов ТЭЦ и от 1726,8 до 2411,9 млн. руб. для блоков КЭС. При этом удельные затраты на удаление 1 тонны золы составили от 117 руб./т до 1440 руб./т для котлов ТЭЦ и от 151 руб./т до 1847 руб./т для блоков КЭС. Аналогичные показатели при внедрении ЭФ составили 458,4–671,3 млн. руб. для котлов ТЭЦ и 1375,2–2013,9 млн. руб. для блоков КЭС. Удельные затраты на удаление золы в ЭФ составили 77,4–1205,2 руб./т для котлов ТЭЦ и 120,5 — 1545,4 руб./т для блоков КЭС.

Сроки окупаемости РФ и ЭФ, рассчитанные с учетом экоплатежей с коэффициентом 100 за сверхнормативные выбросы золы, для обоих типов золоуловителей составили более 30 лет. Результаты работы могут быть использованы при определении ставки платы за выбросы золы.

Литература

1. **ИТС 38-2017** (ИТС НДТ КТЭУ) «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии», Бюро НДТ [Электронный ресурс]: http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1132&etkstructure_id=1872.
2. **ГОСТ Р 50831-95**. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования.

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

В.А. Сураева, студ.; рук. И.С. Бабич, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СПЕЦИФИКА РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Подводя итоги пройденного этапа реформирования российской электроэнергетики, можно отметить следующие важнейшие результаты проведенных преобразований: показали долгосрочную эффективность конкурентные механизмы ценообразования на электрическую энергию; сформированы механизмы обеспечения оперативной и балансовой надежности функционирования электроэнергетики в рыночных условиях; созданы предпосылки и новые механизмы привлечения инвесторов в отрасль. [2]

Отраслевые специалисты признают, что: «Основное значение конкурентного рынка состоит в том, что он обусловил возникновение системной мотивации для повышения эффективности энергетических компаний. Ранее при наличии одного лишь метода тарифообразования «затраты плюс» никакого стимула для снижения издержек не было». Сейчас эта задача реализована через механизм маржинального ценообразования. Свою роль сыграло и разделение электроэнергетических компаний по видам бизнеса, что способствовало увеличению прозрачности издержек и росту стимулов к повышению эффективности энергокомпаний. При этом полной прозрачности издержек достичь не удалось, т.к. остались проблемы перекрёстного субсидирования между тепловой и электрической энергией, а также вопросы распределения затрат между двумя электроэнергетическими товарами — электроэнергией и мощностью. Внедрение узлового ценообразования привело к появлению чётких ценовых сигналов по «расшивке сетевых ограничений». [2] По данным Росстата, благодаря привлечению инвестиций установленная мощность электростанций в ЕЭС России за период 2008–2019 гг. — одиннадцать лет после завершения реформы — выросла на 17%, а производство электроэнергии — на 7,4% (при росте ее потребления на 7%). При этом в электроэнергетике страны сегодня создан резерв производственных мощностей, создающий возможности для ускоренного вывода устаревших мощностей и их модернизации без ослабления энергетической обеспеченности российской экономики. [1]

На основе анализа исторического опыта реструктуризации предприятий электроэнергетики, будут предложены новые методы оценки эффективности проведения реструктуризации компаний, с использованием оценочных инструментов.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики — <https://rosstat.gov.ru/>
2. Научная электронная библиотека. [Электронный ресурс] — режим доступа — <https://elibrary.ru>

Д.Х. Каранфил, студ.;
рук. И.С. Андрюшина, к.э.н., профессор (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ WACC КАК СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Рассмотрение любого инвестиционного проекта требует предварительного анализа и оценки. Одним из важнейших факторов в оценке эффективности проекта является определение и выбор ставки дисконтирования. Ставка дисконтирования — это такая норма доходности, ожидаемая инвесторами от вложения в проект, которая должна компенсировать упущенную выгоду от альтернативных вложений с таким же уровнем риска. Существуют разные методы расчета ставки дисконтирования:

- Модель ценообразования капитальных активов (CAPM)
- Модель средневзвешенных затрат на капитал (WACC)
- Метод кумулятивных потоков

Наиболее популярной моделью расчета ставки дисконтирования является WACC. Средневзвешенные затраты на капитал (Weighted Average Cost of Capital — WACC) в общем виде можно определить по формуле:

$$WACC = W_d r_d (1 - T) + W_e r_e \quad (1)$$

Где W_e , W_d — соответственно доли собственного и заемного капитала; r_d , r_e — ожидаемая доходность собственного и заемного капитала; $1-T$ — налоговый кор-ректор.

Выбор в качестве ставки дисконтирования WACC допустимо, если финансирование проекта осуществляется из разных источников. При использовании одного источника, следует использовать в качестве ставки стоимость соответствующего источника финансирования. [1]

Таблица 1. Расчет WACC

| Показатель | W_d | W_e | r_d , % | r_e , % | T, % | WACC |
|------------|-------|-------|-----------|-----------|------|-------|
| Значение | 0.18 | 0.82 | 11.16 | 7.14 | 20 | 7.45% |

Кроме того, проблема использования данной концепции заключается в том, что WACC не учитывает риски финансовой устойчивости компании. В соответствии с данной моделью рост долговой нагрузки ведет к снижению стоимости капитала компании, однако с ростом кредитного плеча возрастает и риск банкротства.

Литература

1. **Холодкова, В.В.** Управление инвестиционным проектом: Издательство Юрайт, 2021.

Е.А. Львова, студ.; рук. Д.В. Зотова, ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЕМНОГО КАПИТАЛА

Одной из ключевых проблем в финансовой деятельности предприятия является привлечение и рациональное применение заемного капитала.

Заемный капитал для коммерческих организаций играет важную роль как дополнительные средства для расширения и осуществления хозяйственной деятельности. [1]

Высокая доля заемных средств, высокий уровень процентной ставки за кредит свидетельствует о привлечение новых заемных средств нерациональным решением, и они могут ухудшить финансовое состояние и привести к банкротству. [1]

Эффект финансового рычага (DFL) отражает принцип роста доходов собственников за счет привлечения заемных средств в оборот предприятия.

$$DFL = (D/E) * (1 - t) * (ROA - r), \quad (1)$$

где t — ставка налога на прибыль, в относительной величине; ROA — рентабельность активов,%; r — средняя расчетная ставка процента за кредит, %; D — стоимость заемного капитала; E — стоимость собственного капитала. [1]

При положительном значении дифференциала любой прирост плеча финансового рычага будет вызывать еще больший прирост коэффициента рентабельности собственного капитала и наоборот.

При неизменном дифференциале коэффициент финансового рычага является главным генератором как возрастания суммы и уровня прибыли на собственный капитал, так и финансового риска потери этой прибыли. Аналогично, при неизменном коэффициенте финансового рычага положительная или отрицательная динамика его дифференциала генерирует как возрастание сумму и уровня прибыли на собственный капитал, так и финансовый риск ее потери.

Проанализировав формулу эффекта финансового рычага, можно сделать выводы о том, что предприятию выгодно привлекать заемные средства до тех пор, пока заемный капитал будет увеличивать значение уровня эффекта финансового рычага, а также риск кредитора выражен величиной дифференциала, причем, чем больше дифференциал, тем меньше риск, и наоборот.

Литература

1. **Никитин Д.А.** Эффективность использования заемного капитала / Д.А. Никитин [Электронный ресурс] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. — 2017. — № 2. — С. 84–89.

А.Ю. Румянцева, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

В последнее время пандемия и глобальные изменения климата оказывают значительное влияние на мировую экономику, поэтому многие предприятия вынуждены адаптировать существующую систему бизнес-процессов. Современные требования к скорости и прозрачности оптимизации системы бизнес-процессов предполагают реализацию алгоритмов проверки входных данных на соответствие результатам стратегического анализа внешней среды.

Исследование направлено на разработку подходов к оптимизации системы бизнес-процессов торговой компании. Результаты анализа показывают, что значительные изменения произошли в таких процессах, как закупки, управление персоналом, маркетинг, планирование и онлайн — продажи. Наиболее сложной задачей управления системой является учет изменения потребительского поведения и снижение спроса на непродовольственные товары.

Для достижения целей исследования была выбрана модель AS-IS, которая позволяет выявить слабые места организаций, а также определить резервы для совершенствования бизнес-процессов. Выявленные недостатки в модели AS-IS возможно исправить при создании модели TO-BE [1]

С помощью ранжирования определены риски по каждому бизнес-процессу предприятия. Например, в результате декомпозиции процесса закупки, выявлены риски: сроки поставки, возрастающая цена, недопоставка товара. В результате была построена модель бизнес-процессов TO-BE, в которой отражается переход торгового предприятия с офлайн продажи на онлайн и предложена система показателей эффективного управления системой.

В качестве информационной платформы системы была выбрана CRM-система. Такая система помогает не потерять своих клиентов, прочно контролировать весь процесс взаимоотношений с ними, помогает так же контролировать работу своих сотрудников на одной общей базе в стандартизированном виде. [2]

Литература

1. **Брюске, Д.Я.** Построение модели деятельности AS-IS и TO-BE по методу SADT и в виде иерархии потоков данных (DFD) для учебно-спортивного комплекса // Качество информационных услуг: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, Тамбов, 2017. — С. 88–94.
2. **Королева, О.А.** Внедрение CRM-системы в организации // Новая наука: Стратегии и векторы развития. — 2015. — № 6–1. — С. 152–153.

А.Ю. Рогова, студ.; рук. А.Г. Зубкова, к.э.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ

Динамично меняющееся мышление клиентов и постоянно растущая конкуренция требуют от транспортных предприятий инновационных услуг, использования интернета, больших данных, улучшения качества обслуживания клиентов.

Исследование этой проблемы проводилась на примере компании ООО «АЭРО ТРАК», обеспечивающей перевозку грузов специализированными автотранспортными средствами. Для решения этой проблемы была разработана стратегия реализации путем внедрения современных информационных технологий.

В результате исследования обоснован выбор информационной технологии Блокчейн для данной компании по результатам сравнения технологии с аналогичными по функциям системами: SCE (Supply Chain Execution), SCM (SupplyChainManagement). Как показал анализ Блокчейн имеет существенные преимущества по сравнению с ними. Она намного удобней при использовании, как для бизнеса, так и для клиентов, обеспечивает прозрачность информации, а самое главное, надежную защиту от несанкционированных операций. Кроме того, ее использование не требует серьезной подготовки пользователей. [1]

Практическая часть работы посвящена анализу и оценке экономической эффективности внедрения системы блокчейн. Вложения в реализацию проекта составили 5 000 тыс. руб., а срок окупаемости около года. Окупаемость проекта обеспечивается за счет изменения комплексного показателя эффективности процессов информационной и транспортной логистики. Это обеспечивается за счет экономии затрат: аренды от простоя автомобилей, потери от хранения готовой продукции на складе и вне склада.

Это также создает условия для увеличения объема перевозок и предпосылки для роста дохода. По результатам исследования может быть сделан о целесообразности реализации данного проекта, который в дальнейшем позволит обеспечить формирование потенциала для обеспечения устойчивой конкурентоспособности предприятия.

Литература

1. **Вертакова Ю.В.** Трансформация управленческих систем под воздействием цифровизации экономики: монография — Курск: Изд-во ЮЗГУ, 2017.

Секция 30
ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Industrial economics

Председатель секции: к.э.н., доцент Шувалова Дарья Георгиевна

Секретарь секции: к.э.н., доцент Амелина Анна Юрьевна

А.С. Яковенко, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПАНИЙ РИТЕЙЛЕРОВ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ УЩЕРБА ОТ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РИСКОВ

Основная цель логистики — это организация потоков внутри фирмы таким образом, чтобы обеспечить беспрерывное производство товаров, услуг, наиболее полно отвечающих запросам внешних потребителей — клиентов фирмы, при этом максимально оптимизируя экономичность и затраты ресурсов на их реализацию и эффективность системы складирования. Объект данного исследования — логистический поток компании ритейлера. Целью научного исследования является совершенствование логистической системы компаний ритейлеров.

В ходе анализа литературы по теме исследования были изучены труды следующих авторов: Колесникова Е.В., Герцик Ю.Г., Саченок Л.И., Андрианова Е.А. Исследователи предлагают разные подходы к решению проблемы совершенствования логистической системы. Нельзя не согласиться с авторами, что при рассмотрении системы логистики компании, необходимо учитывать все факторы, влияющие на изменение операционных бизнес-процессов, однако комплексного решения вышеуказанной проблемы в настоящее время нет.

Также следует отметить, что на сегодняшний день, в условиях пандемии, логистический сервис испытывает множество трудностей из-за неподготовленности. В результате мы приходим к тому, что в логистической системе появляются уязвимые места, формирующие экономические дыры для владельцев бизнеса, в которые утекают миллионы рублей на ежемесячной основе.

По итогам анализа логистических систем компаний ритейлеров мы установили, что одна из критических зон, которая существенно влияет на потери — это распределительные центры (РЦ). Работа между РЦ и грузополучателями выстроена таким образом, что магазины в случае фактов недовоза или в случае поставки некачественного товара, вынуждены работать с актами разногласий. Сама работа с актами у операций занимает определенную часть времени, которое они тратят на составление актов, вместо выполнения бизнес-процессов. Таким образом, у компании увеличивается транзакционная составляющая логистических издержек.

Таким образом, формируется следующая научная задача — разработать комплексный подход к процессу формирования логистических потоков организации ритейлера в условиях пандемии, позволяющий минимизировать транзакционные затраты в каждом элементе логистической системы.

И.В. Кузнецова, студ.; рук. В.А. Щевьёва, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

В настоящее время для многих российских компаний актуальным является вопрос уменьшения уровня производственной зависимости от зарубежных партнёров. Для обеспечения максимального положительного результата от внедрения проектов по импортозамещению важно правильно выбрать стратегию импортозамещения и оценить эффективность реализации данной [1].

В ходе исследований были выявлены особенности, на которые стоит обратить внимание при оценке проектов по импортозамещению, такие как качество производимого товара и временной фактор [2]. Был предложен обобщающий алгоритм для анализа возможностей импортозамещения и скорректированы критерии оценки импортозамещения:

1. Выявление необходимости импортозамещения в конкретной отрасли:
 - 1.1. Общее тенденция развития отрасли, анализ рынка, расчёт количественных показателей;
 - 1.2. Расчёт индикаторов импортозамещения;
2. Формирование перечня продукции;
3. Ранжирование проектов импортозамещения по критериям эффективности:
 - 3.1. Конкурентоспособность
 - 3.2. Технологический задел
 - 3.3. Экономическая эффективность проекта
4. Корректировка перечня продукции;
5. Принятие решение о реализации проекта импортозамещения;

Далее в ходе исследования необходимо сформировать необходимые меры по импортозамещению. Реализация предлагаемых мер чаще всего осуществляется с помощью внедрения новых проектов или модернизации производства.

Предложенный алгоритм стоит учитывать при принятии решений о реализации проектов в сфере импортозамещения как государству, так и конкретному предприятию.

Литература

1. **Батьковский А.М., Стяжкин А.Н., Фомина А.В.** Оптимизация процессов формирования и оценки планов импортозамещения наукоемкой продукции с учетом ее конкурентоспособности и импортозависимости // International journal of professional science. 2019. № 4.
2. **Субхонбердиев А.Ш., Шевченко А.Н.** Стратегии импортозамещения в мировой экономике: уроки для России // Вестник ВГУИТ. 2018. № 4 (78).

М.С. Скиба студ.; рук. В.В. Бологова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МЕТОДИК УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

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.

В работе был рассмотрен опыт отечественных ученых, заложивших основы механизма управления, такие как Т.С. Колмыкова, Е.В. Харченко, Л.К. Гуриева, В.А. Зимин, З.Ш. Бабаева. Они нашли ряд путей, позволяющих снизить влияние кризисных процессов в финансово-экономической сфере. Однако в их трудах не полностью изучены определенные направления инвестиционного анализа функционирования современной экономической системы, что свидетельствует, как и о несовершенстве теоретической и практических аспектов функционирования механизма управления инвестициями, так и о необходимости повышения уровня обоснованности и качества внедрения мероприятий по управлению инвестиционной привлекательностью предприятий [1]. Зарубежные авторы выделяют четыре основные функции управления: планирование, мотивация, организация и контроль. Инструменты оценки и повышения инвестиционной привлекательности, как и другие меры, направлены на совершенствование действия механизма управления инвестициями.

В работе были изучены существующие механизмы управления, мониторинга и реализации приоритетных направлений при разработке алгоритма управления инвестиционной деятельностью на предприятиях. 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 предлагается разработать алгоритм управления инвестиционной деятельностью, включающий инструменты таких методов управления, как «тайм-брифинг», «краудфандинг», «краудинвестинг», применение математического моделирования распределения ресурсов, что позволит сделать инвестиционную деятельность экономически эффективной.

Литература

1. **Рудакова Н.О.** Управление инвестициями на предприятии // Экономика и социум. — 2015. — № 2–4 (15). — С. 63–67.

Е.А. Козлова, студ.; рук. В.В. Бологова доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАЗВИТИЮ СЕКТОРА МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РФ

Сектор малого бизнеса является значимым для развитой экономики любого государства, так как является ее основой, создаёт большую часть рабочих мест для населения, стимулирует конкуренцию. Развитие МСП является актуальной задачей и для российской экономики. В условиях сложившейся ситуации из-за COVID-19 малый бизнес оказался в критическом состоянии. Предприятия, относящиеся к данному сектору, имеют недостаточное финансирование, стоимость коммерческих кредитов для них часто высока, в итоге сейчас многие из них на грани закрытия.

Проведенное в работе исследование позволило выявить ряд факторов, влияющие на состояние и развитие малого бизнеса: антиглобалистические настроения; неопределённость из-за сложившейся ситуации с коронавирусной инфекцией; отсутствие национального опыта ведения малого бизнеса; высокая конкуренция (учитывая доминирование технологических лидеров); цифровизация, а также следующие группы факторов, создающих неопределенности для малого бизнеса:

- эпидемиологические факторы;
- факторы изменения цен на нефть;
- факторы государственной поддержки;
- изменение моделей потребления товаров и услуг, создаваемых малым бизнесом.

По итогу проведенного анализа опыта поддержки МСП в Китае [1, 2] в работе были рассмотрены следующие меры для внедрения в российские реалии: снижение административных сборов, снижение арендных платежей, налоговые льготы, государственные субсидии, специальная финансово-кредитная политика, предполагающая снижение коэффициента резервирования на 1%. Среди прочих мер развития сектора МСП можно выделить создание специализированной инфраструктуры оказания помощи, обучение кадров и внедрение цифровых инноваций.

Реализация предлагаемых решений приведет к развитию МСП в РФ.

Литература

1. **Е Симэн, Шерешева М.Ю.** Государственная политика КНР в отношении китайских малых и средних предприятий в условиях пандемии COVID-19 // Государственное управление. Электронный вестник. — 2020. — № 79.
2. **Repnikova V.M., Bykova O.N., Stroev P.V., Morkovkin D.E., Kurbakova S.N., Kurbakova S.N.** Improvement of approaches to the strategic development management of enterprise // Entrepreneurship and Sustainability Issues. — 2020. — № 1. — p. 301–312.

А.В. Митрофанова, студ.; рук. А.Г. Зубкова, к.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ КОНВЕРСИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ОПК

Национальная безопасность страны напрямую зависит от степени развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Одним из основных ресурсов экономической и технологической безопасности России следует рассматривать конверсию. Актуальность исследования обусловлена необходимостью наращивания объемов выпуска высокотехнологичной продукции гражданского назначения предприятиями ОПК в рамках конверсии. [1]

Конверсия — это перевод ОПК на выпуск гражданской продукции. Предприятия, выпускающие продукцию ОПК обладают определенными специфическими особенностями, такими как: монополия заказчиков, высокая зависимость от гос. заказов, специфический характер назначения продукции. Данные особенности мешают предприятиям наращивать объем прибыли, задействовать имеющиеся мощности и привлекать новых покупателей. В этой связи становится актуальной задача осуществления процесса конверсии на основе стратегии диверсификации, осуществление методического подхода к организации стратегического процесса на предприятии ОПК, который учитывает специфику деятельности предприятия.

АО «СПО «Арктика» — одно из важнейших предприятий в России выполняющих электромонтажные работы на судах и кораблях военного назначения и производящих продукцию для их эксплуатации. Практическая значимость исследования состоит в том, что в АО «СПО «Арктика» до сих пор не рассматривает возможность производства продукции гражданского назначения. В исследовании было проанализировано текущее финансовое состояние АО «СПО «Арктика», было дано соответствие видов стратегий конверсий к общепринятой классификации стратегий экономического роста, проведен метод анализ иерархий (МАИ) с целью принятия решения о выборе стратегии диверсификации, а так же был проведен финансовый анализ после внедрения стратегии диверсификации с целью эффективности внедренной стратегии.

Литература

1. **Шелудько В.Г.** Конверсия предприятий оборонно — промышленного комплекса и пути продвижения продукции на рынок // Менеджмент социальных и экономических систем. 2018. № 1. С. 5–12.

А.И. Жестков, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ ПЕРСОНАЛА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В рамках данного исследования мы рассматриваем вопросы взаимосвязи производительности и уровня вовлеченности персонала в компании ПАО «Россети Московский регион», филиала одной из крупнейших распределительных компаний в России, имеющей высокую социальную значимость и фактически выступающей одним из элементов национальной безопасности страны. Новизна исследования заключается в анализе систем управления персоналом компании в условиях проходящей цифровизации, и оценке экономической эффективности вовлеченности сотрудников. Вовлеченность персонала — показатель, на который оказывает влияние множество факторов [1]. Проблема оценки вовлеченности состоит в том, что анализируемые показатели могут быть как объективными, так и субъективными [2]. Для проведения исследования, мы адаптируем формулу для оценки эффективности труда работников, с учетом проводимой в компании цифровизации, также разработаем специальный индивидуализированный под цели исследования опросник. Для математической оценки эффективности труда работников может быть использована формула среднечасовой эффективности труда работников с применением специальных коэффициентов, отражающих влияние вовлеченности на производительность и на качество труда, а также коэффициент отражающий рост производительности за счет применения новых цифровых технологий в компании. Ниже приведена формула (1), которая будет использоваться для оценки объективных показателей вовлеченности и цифровизации на эффективность труда:

$$ЭТ = \varepsilon \times (\text{ПСТ}_{\text{норм}} \times \text{Кол.Т}_{\text{норм}}) \times \text{Квовл}_{\text{П}} \times \text{УК}_{\text{норм}} \times \text{Квовл}_{\text{К}} / \text{РВ}, (1)$$

где ε — коэффициент сокращения живого труда, значения $\text{ПСТ}_{\text{норм}}$, $\text{Кол.Т}_{\text{норм}}$, $\text{Квовл}_{\text{П}}$, $\text{УК}_{\text{норм}}$, $\text{Квовл}_{\text{К}}$, РВ — можно найти в [2].

Ожидается рост производительности до 50% при проведении модернизации и достижении высоких показателей вовлеченности, за счет сокращения времени на получение и передачу информации и соответственно ускорение проведения организационных и технических мероприятий, сокращения лишних переездов во время аварийных работ.

Литература

1. **Белкин В.Н., Белкина Н.А., Антонова О.А.** Отчуждение труда работников российских предприятий // Вестн. ЧелГУ. 2015. № 1 (356).
2. **Николаев Н.А.** Методический подход к повышению эффективности труда на основе управления вовлеченностью персонала в деятельность малого предприятия. дис. к.э.н., 2017.

А.Г. Гришина, студ.; рук. Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫМ И ЗАЕМНЫМ КАПИТАЛОМ КОМПАНИИ С УЧЕТОМ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Каждая компания в процессе финансового обеспечения должна самостоятельно планировать величину собственного капитала, вкладываемого в производство. Выбор привлечения того или иного источника финансирования зачастую сравнивается с показателями рентабельности данного вида вложений и стоимостью привлекаемого источника финансирования. Финансовое состояние компании напрямую зависит от структуры капитала, которая определяется таким соотношением собственного и заемного капитала, которая позволяет компанию функционировать без сбоев [1].

Актуальность проведенного исследования определяется тем, что целевая структура капитала предполагает такую пропорцию заемных и собственных средств, которая закрепляется менеджером при принятии управленческих решений. Данная структура не является фиксированной, она может варьировать как реакция на изменение внешних факторов среды, но в определенный момент времени менеджеры компании имеют ясное видение о целевой структуре капитала и все управленческие решения направлены на достижение заданной структуры капитала. Если фактический удельный вес заемных средств ниже, чем в целевой структуре, то прирост капитала достигается посредством выпуска облигационного займа или получения долгосрочных кредитов банка.

Научная новизна исследования заключается в совершенствовании системы управления собственным и заемным капиталом компании с учетом концепции устойчивого развития.

Личный вклад автора состоит в определении основных элементов системы управления капиталом компании.

Перспективы использования полученных результатов заключаются в разработке финансовых методов управления структурой собственного и заемного капитала для компании.

Литература

1. **Любушин Н.П.** Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: учеб. пособие / Н.П. Любушин. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Юнити-Дана, 2019. — С. 105–110.

*А.Р. Галимова, И.И. Насырова, Ш.М. Шарипов, студенты;
рук. В.Э. Зинуров, ст. пр. (КГЭУ, Казань)*

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работах [1–2] был разработан классификатор для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля. Важной задачей является проведение экономического расчета.

Поэтому в данной работе объектом исследования является промышленное предприятие ООО «СКЗ», а предметом исследования является расчет экономической целесообразности внедрения классификатора с соосно расположенными трубами в существующую технологическую линию завода с минимальными экономическими затратами для дальнейшего получения максимальной прибыли за счет выпуска высококачественной продукции. В работе были рассмотрены основные затраты, влияющие на расчет оценки экономической эффективности внедрения классификатора: материальные затраты на изготовление классификатора, амортизационные отчисления, накладные расходы, капитальные и прочие [3]. Стоимость одного классификатора составила 53 600 руб.

В работе проведен сравнительный анализ оценки экономического эффекта внедрения нового оборудования — классификатора с ранее применяемым устройством — циклонным сепаратором.

В докладе показано, что затраты на электрическую энергию при применении классификатора с соосно расположенными трубами на протяжении 1 года составят около 22 000 руб.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2710.2021.4

Литература

1. **Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Ruzanova M.A., Dmitrieva O.S.** Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // MATEC Web of Conferences. — 2020. — V. 193. — P. 01056.
2. **Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В.** Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. — 2021. — № 2. — С. 205–211.
3. **Зинуров В.Э., Галимова А.Р.** Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. — 2020. — № 12 (194). С. 50–59.

*Д.В. Сергеева, студент, Д.Е. Козин, студент;
рук. А.А. Ибадов, асп. (КГЭУ, Казань)*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВА И ЧАСТНОГО СЕКТОРА В РАЗВИТИИ ЖКХ

Современные реалии требуют модернизации жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), однако монополизм некоторых подотраслей негативно отражается на развитии сектора в целом. В момент трансформации экономики сложное финансовое положение, высокие затраты на оказание услуг, повышение издержек, износ основных фондов, снижение энергоэффективности объектов теплоснабжения, централизованных систем горячего и холодного водоснабжения и водоотведения, отдельных объектов таких систем привела их к тяжелому финансовому положению [1].

В связи с этим для реформирования экономического регулирования сферы ЖКХ необходимо совершенствование методик взаимодействия государства и частного сектора как организационно-экономического элемента управления предприятиями. Такими элементами являются концессионные соглашения и соглашения государственно-частного партнерства (ГЧП), которые представляют собой гражданско-правовые договоры между публично-правовым образованием (Российской Федерацией, субъектом Российской Федерации или муниципальным образованием) и частной стороной на длительный срок.

В обеспечении системной работы заключения концессионных соглашений в порядке частной концессионной инициативы и совершенствовании механизма заключения концессионных соглашений систем коммунальной инфраструктуры заинтересованы как органы муниципальной и исполнительной власти, так и частные инвесторы, так как данные соглашения направлены на модернизацию отрасли ЖКХ, применение энергосберегающих технологий, снижение потерь и сдерживание тарифов.

Кроме того, качественная проработка механизмов заключения концессионных соглашений оказывает существенное влияние на улучшение позиции регионов в рейтинге Минэкономразвития России по оценке уровня развития государственно-частного партнерства в субъектах Российской Федерации и в Национальном рейтинге регионов АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов».

Литература

1. **Зазерская В.В.** Развитие форм государственно-частного партнерства в сетевом хозяйстве / В.В. Зазерская // Экономика и управление (Минск). — 2011. — № 4 (28). — С. 97–103.

О.А. Жукова, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЛИНГА, КАК ИНСТРУМЕНТА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Оперативный контроллинг действует на достижение поставленных целей среднесрочного планирования, на уровне внутренней системы предприятия. От данного типа контроллинга зависит экономический потенциал компании[1].

Существующая проблема развития планирования и учета в эксплуатации материальных ресурсов газораспределительных предприятий заслуживает большое значение с позиции учета применяемых материальных ресурсов в планировании и контроле затрат на израсходованные сырье, материалы.

Оперативный контроллинг логистики позволяет более точно планировать закупку требуемых ресурсов, оптимизировать их расход и повышать гибкость предприятия в целом при возникновении незапланированных или непредвиденных ситуаций.

В данной работе объектом исследования выступает региональное предприятие газораспределительной системы АО «МОСГАЗ».

Таблица 1. Система контроллинга в логистической системе ГРО

| Концепции развития Компании | Экономическая эффективность при стандартном планировании | Экономическая эффективность при оценке рисков |
|--|---|--|
| Планирование по производственной программе | -4 402 342,22 | |
| При оптимистической | | -0,23 |
| При нейтральной концепции | | -239 345,351 |
| При пессимистической | | -4 268 334,655 |

По итогам работы сделан вывод, что при учете рисков, в том числе специфического логистического риска, применении методов оперативного планирования логистических систем, плановые показатели использования материальных ресурсов максимально приближены к фактическим показателям. Экономическая эффективность значительно возрастает даже при пессимистической концепции развития предприятия. Наблюдается значительное снижение возможных внеплановых затрат на закупку требуемых ресурсов в связи со срочной необходимостью, увеличением внеплановых транспортных, транзакционных расходов.

Литература

1. **Мамаев, Э.А.** Контролинг и управление логистическими рисками: учеб. пособие / Э.А. Мамаев, Л.В. Маколова; ФГБОУ ВО РГУПС. — Ростов н/Д, 2017. — 129 с.: ил. — Библиогр.: С. 96–98.

А.С. Риттер, студ.; рук. А.Ю. Амелина, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ В СФЕРАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Цифровизация открывает широкие возможности для упрощения и ускорения процесса тарифообразования в электроэнергетике и теплоснабжении на уровне государства. За счет внедрения в них инновационных технологий, можно усовершенствовать систему государственного управления, достичь экономии ресурсов регулируемых организаций, повысить их конкурентоспособность, сократить расходы потребителей электрической и тепловой энергии.

В настоящий момент в рамках кампании по цифровизации тарифообразования в сферах электроэнергетики и теплоснабжения реализуются Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года, национальный проект «Цифровая экономика РФ», федеральный проект «Цифровое государственное управление» и ведомственный проект Минэнерго России «Цифровая энергетика». ФАС России делает первые шаги к полной цифровизации тарифного регулирования: работает над едиными электронными формами для подачи тарифных заявок и написания экспертных заключений, внедряет проверяющий параметры тарифных решений «Федеральный тарифный светофор», совершенствует ГИС ЕИАС, ГИС ЖКХ и ГИС ТЭК, а также таблицы-шаблоны для сбора отчетности [1].

Для реализации в перспективе ученые предлагают следующие направления цифровизации государственного регулирования цен (тарифов) на электрическую и тепловую энергию: создание специализированного центра информации и государственных сервисов для потребителей, внедрение цифровых технологий и инструментов прогнозирования, разработка всероссийской базы коммунальной и энергетической инфраструктуры и пр. Несмотря на имеющиеся риски и проблемы, их внедрение несет в себе множество полезных эффектов.

Анализ литературы по теме исследования показал, что вопрос цифровизации тарифного регулирования в сферах электроэнергетики и теплоснабжения недостаточно изучен. В связи с этим основная задача, стоящая перед автором, состоит в разработке цифрового инструмента, направленного на совершенствование процесса тарифообразования и повышение его прозрачности.

Литература

1. **Королев В.Г., Капитонов И.А., Бердников Д.В.** Реализация концепции долгосрочного тарифного регулирования в Российской Федерации — Выкса: Издательство IKSA, 2021. — 132 с.

Секция 31
МЕНЕДЖМЕНТ
Management

Председатель секции: к.э.н., доцент Кетоева Наталья Леонидовна

Секретарь секции: Вольная Сима Агилевна

Е.А. Сысоева, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА УНИВЕРСИТЕТОВ С СУБЪЕКТАМИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В мировом сообществе проявляется тренд, характеризующийся борьбой за стратегические интеллектуальные ресурсы. Это связано с тем, что в современном мире теоретические и практические знания становятся факторами производства в области цифровой экономики [1]. Процессы создания и распространения знаний складываются в целостную систему, органически встроенную в хозяйственную деятельность фирм, регионов, национальных правительств.

Стратегическое развитие региона невозможно без равномерного развития основных субъектов социально-экономической активности на его территории. Разработка системы оптимального взаимодействия бизнес-кластеров, энергетических предприятий, органов государственной власти, образовательного сообщества, научных школ и некоммерческого сектора обеспечит перспективную синергию развития территории, ее конкурентоспособность на современном рынке инвестиций и рабочей силы (Рис. 1). Для этого необходимо разработать инструменты, применимые для их индивидуального позиционирования с учетом потребностей и возможностей сложившейся региональной экосистемы.

| | | |
|--------------------|------------|-------|
| Органы гос. власти | ВУЗ | НКО |
| ВУЗ | | Наука |
| Предприятия | | |

Рис. 1. Стратегическое партнерство в регионе

Для того чтобы определиться с целями, направлением и основными параметрами стратегического регионального развития, необходимо знать точку отсчета, в связи с этим применяется системный подход к анализу многостороннего территориального сотрудничества. В рамках исследования построены процессные модели отдельных двусторонних партнерств. Для каждой модели определены: ресурсы, влияющие на модель; ограничения; механизмы; выходы.

Создание единого целостного образовательного пространства, взаимодействующего со всеми стратегическими партнерами, является ключевым в развитии региона в условиях цифровой экономики.

Литература

1. **Andreeva A.N.** Digital economy: new business opportunities / A.N. Andreeva, E.M. Mizova / Journal "Economy and Business". vol. 4. 2018. PP. 19–21.

А.Д. Коноваленко, студ.; рук. С.А. Вольная, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ

Данная работа полезна для организаций, планирующих проводить обучение сотрудников в целях повышения их квалификации в сфере информационной безопасности (ИБ) и выбирающих для этого формат.

Для поддержания актуальности осведомленности сотрудников в сфере ИБ необходимо регулярно проводить обучение, но тут остро встает вопрос, в каком формате все же стоит его проводить: в очном или дистанционном?

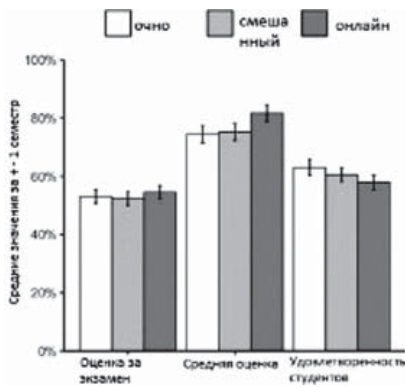


Рис. 1. Статистика обучения

Обычно инструктажи проводят сотрудники подразделений безопасности, работая с небольшими группами людей. Практика показывает, что такое обучение уже устарело. А статистика, приведённая на рисунке 1, что дистанционное обучение по эффективности не уступает ему, но у него есть ряд преимуществ, т.к. оно удобно: есть возможность работать с материалом из любой точки; современно: помимо теории существует ряд дополнительных функций, позволяющий лучше и проче запомнить весь материал. Кроме этого, e-learning выгоднее, т.к. существуют электронные версии обучающих материалов; а также нет необходимости

собирать всех в одном месте и ограничивать количество присутствующих сотрудников размерами помещения, что позволит обучать сразу всех, а не маленькие группы.

В итоге мы видим, что дистанционное обучение не только экономит деньги организации, но и позволяет лучше запомнить изучаемый материал, что закономерно приводит к повышению уровня ИБ в организации.

Литература

1. ANTI-MALWARE [электронный документ] (URL: <https://www.anti-malware.ru/practice/methods/Raising-employee-awareness-your-contribution-to-safety>, дата обращения 07.09.2021)
2. ScienceAdvances [электронный ресурс] (URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aay5324>, дата обращения 09.09.2021)

К.С. Володина, аспирант; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ФИНАНСОВОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ DIGITAL-МАРКЕТИНГА

Актуальность выбранной темы состоит в проработке теоретических и практических аспектов дальнейшего совершенствования и улучшения качества процесса управления финансами в вузах.

Результатом проведенного исследования стала разработка адаптивной финансовой модели управления вузом. Для достижения намеченного результата были решены основные задачи: проведен анализ современного состояния рынка образовательных услуг и выявлены актуальные проблемы, проанализированы основные инструменты и существующие подходы при формировании финансовой модели управления в вузе, определены основные недостатки.

Объектом исследования выступил ФГБОУ ВО НИУ МЭИ.

В разработанной финансовой модели вся деятельность вуза, была разделена на блоки (бизнес-процессы).

В рамках основного бизнес-процесса, автором был предложен ряд мероприятий: внедрение инструментов digital-маркетинга [1], с целью привлечения большего количества абитуриентов на платное обучение и взаимодействие со смежными рынками, а именно рынком труда и рынком образовательных услуг.

Для определения влияния изменения численности студентов на изменение внебюджетных поступлений, автор применил формулу (1):

$$\Delta Bv = \sum_{i=1}^n V_{отч} d_{iотч} \Pi_{iотч} - \sum_{i=1}^n V_6 d_{i6} \Pi_{i6}, \quad (1)$$

где ΔBv — изменение внебюджетных поступлений от обучения студентов, произошедших за счет численности студентов; n — число специальностей; $V_{отч}$, V_6 — общая численность студентов-контрактников соответственно в отчетном и базовом периодах; d_i — доля студентов, обучающихся на платной основе по i специальности; Π_i — стоимость обучения одного студента i специальности.

При внедрении предложенных мероприятий приток студентов на платное обучение, по прогнозным данным увеличиться на 20%, следовательно, прирост средств во внебюджетный фонд по отношению к 2020 г., должен составить 22%, исходя из этого, можно утверждать, что цель «увеличение доли внебюджетных средств», будет достигнута.

Литература

1. **Котлер Ф.** Маркетинг 4.0. Разворот от традиционного к цифровому. Технологии продвижения в интернете / Бомбора, 2019.

В.К. Драницына, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Процесс цифровизации образования стоит рассматривать с двух сторон: с одной стороны, как формирование цифровой образовательной среды и цифровых технологий, и с другой стороны, как глубокую трансформацию образовательного процесса, который обеспечивает подготовку человека жить и осуществлять свою профессиональную деятельность в условиях цифрового общества и цифровой экономики.

Цифровизация образования — это обновление планируемых результатов обучения, методов и форм учебной работы, а также оценка полученных результатов в условиях стремительного развития цифровой образовательной среды для существенного улучшения образовательных результатов каждого обучающегося [2].

В связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией переход в формат дистанционного обучения стал проверкой готовности системы образования к цифровизации. На данный момент автором выделяется три основные проблемы на пути к формированию цифровой образовательной среды (рис. 1) [1].

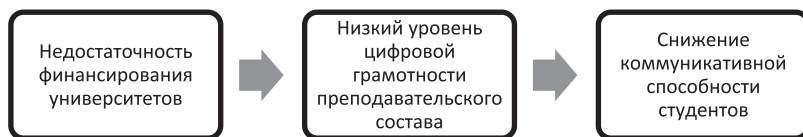


Рисунок 1. Проблемы на пути к цифровизации образования

Процесс цифровизации — долгий и трудоемкий процесс. Университеты не имеют достаточного уровня финансового, кадрового, а также технического и программного обеспечения. Также есть проблемы с готовностью студентов к цифровому формату образования. Процесс цифровизации образования необходимо последовательно реализовывать, учитывая особенности российской системы образования и состояние цифровой экономики страны. Результатом исследования является новая модель управления цифровизацией в университетах.

Литература

1. **Гаирбекова П.И.** Актуальные проблемы цифровизации образования в России // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. С. 65.
2. **Уварова А.Ю., Фрумина И.Д.** Трудности и перспективы цифровой трансформации образования // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019.

П.Е. Жохова, асп.; рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ МАРКЕТИНГА НА НОВЫЕ КАТЕГОРИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, СФОРМИРОВАВШИЕСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ COVID-19

Изучение потребительского поведения является актуальным, т.к. со стремительным развитием экономики и технологий также стремительно трансформируются и появляются новые категории потребителей. Нужно определить эти новые категории потребителей, дать им характеристику и проанализировать их значимость для экономики. В условиях нестабильности внешней среды изменения происходят еще быстрее. По данным исследований 2021 г. были выявлены новые тенденции в поведении потребителей, отличное от традиционных моделей [1]. Во многом это является последствием пандемии, вызванной COVID-19. Производителям следует обратить внимание на новые категории потребителей, т.к. им можно предложить продукты для удовлетворения их новых потребностей. Также нужно разработать новые подходы к использованию маркетинговых инструментов воздействия на эти категории потребителей. Компании зачастую ограничиваются традиционными подходами к определению целевой аудитории и классическими методами воздействия на нее, упуская из вида потенциальных потребителей.

Например, две новые категории потребителей — «эко-евангелисты» — за время карантина они стали анализировать свои потребительские привычки и их влияние на экологию. Они ищут способы, как внедрить принципы устойчивости во все аспекты своей повседневной жизни. В коммуникациях с ними важно дать понять, насколько компании честно говорят о своих ценностях и следуют им [2]. Другая категория — «повседневные ритуалисты» — для них рутинные занятия стали стабилизирующей силой. Повседневные ритуалы помогали им чувствовать себя лучше как физически, так и умственно. Они не хотят отказываться от этих ритуалов в будущем. Они ищут способы поддерживать новые привычки, возвращаясь к прежнему ритму жизни. Им можно предложить новые товары, которые помогут сделать их рутину более легкой и быстрой, например, складные тренажеры для дома, мобильные приложения для медитации [2].

Литература

1. **Глобальное исследование потребительского поведения за 2020 год: Россия.** [Электронный ресурс] / PwC.ru / Режим доступа: <https://www.pwc.ru/publications/consumer-insights-survey-2020.html>
2. **Новые кочевники и эко-евангелисты: Pinterest выделил пять новых типов потребителей.** [Электронный ресурс] / Sostav.ru / Режим доступа: <https://www.sostav.ru/publication/pinterest-49174.html>

Р.М. Зайцева, студ., Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДЕЛОВЫХ КАЧЕСТВ РАБОТНИКА ПРИ ОТБОРЕ КАДРОВ В ИТ-КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ФИЛОСОФИЯ.ИТ»)

В настоящее время проблема совершенствования системы оценки деловых качеств работников при подборе персонала интересует не только экономистов-теоретиков, но и руководителей предприятий, поскольку кадровый аспект является важной частью развития макроэкономики в целом и бизнеса в частности. Персонал ИТ-компании как объект управления должен подвергаться тщательному отбору для выявления качеств, необходимых кандидатам для того, чтобы не просто занять вакантную должность, но и успешно справляться со своими обязанностями. Управление персоналом должно также включать регулирование социально-психологических отношений в коллективе, развитие персонала и высвобождение неэффективных элементов труда [1].

ООО «Философия.ИТ» предоставляет комплекс услуг в следующих областях: эксплуатация и управление бизнес-консалтингом, внедрение и поддержка сложных информационных систем, ИТ-аутсорсинг и управление проектами. В процессе анализа системы оценки качества бизнеса по подбору персонала в компании были обнаружены проблемы: в организации используются не все методы оценки деловых качеств работника. Кроме того, заявка на подбор сотрудника недостаточно грамотно разработана, компания мало практикует метод внутреннего подбора, а сам подбор ИТ-персонала имеет свои особенности и сложен для кадровика или рекрутера, далёкого от ИТ-сферы.

Решением проблем, возникающих при приеме на работу и в процессе работы персонала, должны быть: доработка заявки на подбор сотрудника с учетом потребностей организации и привлечения профильных профессиональных специалистов для конкретных задач; введение профессионального тестирования (интервьюирования) при отборе персонала с привлечением ИТ-рекрутера или технического специалиста с большим опытом работы по подбору персонала в ИТ-сфере или обучение действующего сотрудника; разработка более эффективной системы внутреннего подбора и улучшения социально-психологического климата организации. Затраты на реализацию составят 540 000 рублей.

Предложенные мероприятия окупятся в полной мере в течение девяти месяцев. Мероприятия затратные, но целесообразные с точки зрения эффективности.

Литература

1. **Белолипецкий В.Г.** Управление фирмой. М.: КноРус, 2016. 342 с.

А.М. Ковзиков, студ., М.А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ДЖАЙНЕР»)

Рынок вентиляционного оборудования имеет большой спрос и, следовательно, большое количество конкурентов, в связи с этим необходимо повышать конкурентоспособность своего предприятия, чтобы занимать лидирующее положение.

Конкурентоспособность понимается как, способность объекта или субъекта превзойти конкурентов в заданных условиях [1].

В ходе проведения анализа рынка вентиляционного оборудования, выявлено, что первое место занимает Германия, на втором месте Россия и на третьем Великобритания. Предполагаемый рост спроса на вентиляционное оборудование экспертами в ходе анализа и прогноза на глобальном рынке в 2025 году увеличится на 60%, по сравнению с 2017 годом.

ООО «Джайнер» имеет ряд крупных конкурентов: ООО «NED», ООО «Korf», ООО «ВЕЗА». В процессе проведения количественного SWOT-анализа ООО «Джайнер», были выявлены преимущества компании: продаёт товар по низким ценам, есть собственное производство, имеет обширный ассортимент. А в результате проведения количественного PEST-анализа ООО «Джайнер», видно, что негативное влияние на деятельность компании оказывают экономические и политические факторы. В ходе проведения анализа конкурентов ООО «Джайнер» методом экспертных оценок, можно сделать вывод, что компания занимает третье место. Это связано с тем, что в компании очень слабо развит такой показатель, как реклама.

На основе всего этого были разработаны следующие рекомендации: внедрить таргетированную рекламу и SMM-продвижение.

Для расчёта экономического эффекта и экономической эффективности, были взяты данные за последние 4 года по валовой прибыли. Исходя из расчёта экономический эффект составил 853813 руб., это с учётом увеличения валовой прибыли после внедрённых рекомендаций на 10%, а экономическая эффективность в свою очередь составила 20,6%.

После проведения повторного анализа конкурентов ООО «Джайнер» после внедрения предложенных рекомендаций методом экспертных оценок, заметно увеличился показатель рекламы и составил оценку — 5. Это свидетельствует о правильности внедрённых рекомендаций.

Литература

1. **Майкл Портер.** Конкуренция, пер. с англ. М. ИД «Вильямс» — 2017. — 245 с.

А.А. Воронкина, асп.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОДХОД К РЕСУРСНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭНЕРГОКОМПАНИЙ В КОНТЕКСТЕ ИХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Концепция устойчивого развития энергетики ведёт к составлению стратегических планов для предприятий ТЭК с учётом как наилучших доступных технологий, так и наилучших доступных ресурсов [1].

В синхронизации процессов трансформации энергии, ресурсного обеспечения, обновления и перевооружения, опережающая подготовка компетентных кадров с высокой мотивацией для наукоёмких производств представляется наиболее вариативной, сопряжённой с рядом трудно прогнозируемых аспектов. Безусловно, организация эффективной подготовки работников в энергетике требует новых принципов формирования учебных программ при новых формах взаимодействия вузов, сузов и промышленности [2] с целью согласования наборов компетенций, необходимых для ответственной работы в высокотехнологичном секторе.

Действующий механизм целевого набора предполагает жёсткие обязательства студента перед компанией-работодателем, исключая возможность без издержек изменить направление его профессионального развития. Выработка нужных для энергетики наборов компетенций без учёта эмоционально-волевого вектора их носителей несёт в себе риски обязательного трудоустройства специалистов с низким уровнем мотивации и, как следствие, недостаточной ответственности за результаты своей деятельности. Данное обстоятельство противоречит условиям реализации концепции устойчивого развития с опорой на наилучшие доступные: 1) практики менеджмента, 2) технологии, в т.ч. управления, 3) ресурсы, в т.ч. человеческие [1]. Результативность управления техногенными рисками развития энергетики зависит от релевантности модели надпрофессиональных компетенций работников сферы энергетики.

Литература

1. **Крыленко Е.Е.** Методический подход к управлению устойчивым развитием электроэнергетического комплекса России // Микрoэкономика. 2019. № 3.
2. **Абрамова Е.Ю., Курочкин Д.С., Лозенко В.К.** Принципы взаимодействия с работодателями в рамках формирования набора компетентностей выпускника вуза // Экономика и управление: проблемы, решения. 2016. Т. 2. № 9.

А.А. Абакумова, студ.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н. проф. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «РИТЕЙЛ»)

Перемещение материального потока в логистической цепи невозможно без концентрации в определенных местах запасов. Важную роль в эффективной системе отработки грузов играют количество и качественный уровень складских помещений [1].

Общество с ограниченной ответственностью «Ритейл» (сокращенно ООО «Ритейл») — учреждение с маленьким уставным фондом, занимается оптовой и розничной неспециализированной торговлей товаров для туризма и активного отдыха, а также продажей сувенирной продукции, корпоративных подарков. У компании имеется одно складское помещение, но при этом эффективно используется не вся площадь.

В процессе анализа работы склада ООО «Ритейл» был рассмотрен бизнес-план складской логистической системы. Большинство складских операций производится вручную, что снижает эффективность деятельности предприятия.

В результате проведения анализа складской логистической системы ООО «Ритейл», были выявлены следующие недостатки: система не соответствует современным информационным технологиям; программы, которыми пользуется компания для работы на складе в данный момент, не дают возможности эффективно автоматизировать торговые и складские операции; неэффективно применяется складской объем и площадь имеющегося помещения.

На основе всего этого были разработаны следующие рекомендации: внедрить WMS-систему Logistics Vision Suite (LVS) на 10 рабочих мест склада предприятия «Ритейл».

Для расчёта экономического эффекта и экономической эффективности, были взяты данные за последние 3 года. Исходя из расчёта при реализации предложенных мероприятий условный годовой экономический эффект составит 66,170 тыс. руб. В то же время рост производительности труда составит 4,48%, условно-годовая экономия численности работников — 3 чел., а условно-годовая экономия предприятия — 586,17 тыс. руб.

Таким образом, мероприятия по совершенствованию складской логистической системы ООО «Ритейл» позволят повысить экономическую эффективность функционирования процессов производства, будут обладать практической целесообразностью.

Поставленные задачи решены и цель по совершенствованию складской логистики на ООО «Ритейл» достигнута.

Литература

1. **Гаджинский А.М.** Логистика: Учеб. М.: ИВЦ «Маркетинг», 2018.

А.В. Дудина, студ.; рук. Е.А. Терехова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕКАМСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Реализация государственной политики в области социальной защиты населения в Российской Федерации осуществляется в процессе работы целой системы соответствующих органов [1].

Основными институтами социальной защиты являются: социальное страхование, социальное обеспечение, социальная помощь. Кроме того, сюда можно отнести благотворительность и личные сбережения граждан.

Одним из ключевых направлений деятельности УСЗН Нижнекамского района стала реализация семейной политики, поддержки семей с детьми путем предоставления дополнительных выплат, предоставление транспорта гражданам старше 65 лет, проживающих в сельской местности, подлежащих диспансеризации. Действуют следующие проекты:

- Технология аутрич-работы, «Социальная няня»;
- Сезон семейного здоровья;
- Оказание консультативной помощи через Интернет и др.

В связи с распространением Коронавирусной инфекции (COVID-19) появились несколько новых видов государственной поддержки, льгот и пособий для разных категорий граждан.

С помощью экспертного метода проведена оценка эффективности УСЗН Нижнекамского района. В ходе анализа были выявлены наиболее слабые стороны работы Управления: уровень качества услуг, отношение общественности к деятельности Управления и количество жалоб.

Для формирования эффективной государственной политики в сфере социальной поддержки и социального обслуживания населения были спрогнозированы пути повышения эффективности работы Управления после реализации следующих мероприятий:

- Создание общественного совета;
- Введение системы мотивации для служащих;
- Повышение этической компетенции служащих (разработаны образовательные мероприятия, рассчитан бюджет — 258 000 руб.).

Таким образом, итоговый плановый показатель эффективности работы УСЗН Нижнекамского района составит 21 балл, что на 4 балла больше, чем в 2020 году.

Литература

1. **Тарасова Л.А.** Деятельность органов государственной власти в сфере социальной защиты населения // Молодой ученый. 2017. № 14. С. 187.

К.А. Козлова, студ.; рук. М.А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАБОРА, ОТБОРА И НАЙМА ПЕРСОНАЛА КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «СUBQ»)

Актуальность темы исследования обусловлена повышенной значимостью набора, отбора и найма кадров для обеспечения качественного состава персонала организаций.

В системе кадрового обеспечения современных организаций особое место занимают процессы набора, отбора и найма персонала.

Анализ компании показал, что показатели движения кадров свидетельствуют о том, что в течение трех последних лет движение кадров на предприятии характеризуется наличием неблагоприятных тенденций: существенно увеличился как оборот по приему персонала, так и оборот по выбытию [1].

Исходя от анализа были разработаны рекомендации по персоналу ООО «СUBQ».

Для расчёта производительности труда, были взяты данные за последние 3 года. Результаты расчетов показывают, что на замещение одного сотрудника ООО «СUBQ» в среднем затрачивается около 13300 руб. Тогда производительность труда равна 1546,6 руб., вычислим величину ее увеличения на 15% — 480195 руб. Итого 62644,2 руб. — общий экономический эффект. Чистый экономический эффект — 62512,2 тыс. руб.

В конечном итоге повышение производительности труда и снижение издержек на кадровое обеспечение приведут к увеличению прибыльности организации, что актуализирует реализацию мероприятий в деятельности ООО «СUBQ» в настоящий момент.

Поставленные задачи решены и цель по разработке путей повышения конкурентоспособности ООО «Джайнер» достигнута.

Литература

1. Аширов Д.А. Управление персоналом / Д.А. Аширов. — М.: ТК Велби, Проспект, 2018. — 432 с.



Рис. 1. Комплекс рекомендаций по совершенствованию в ООО «СUBQ»

А.И. Щёлок, студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «АЭРОФЛОТ»)

Успешность деятельности авиакомпании определяется уровнем ее конкурентоспособности. Это связано с тем, что на рынке все чаще появляются новые конкуренты. Обеспечение конкурентоспособности компании позволяет ей повысить свои экономические показатели и занять наиболее прибыльные ниши рынка. Конкурентоспособность компании — возможность эффективной хозяйственной деятельности и ее практической прибыльной реализации в условиях конкурентного рынка. Это обобщающий показатель жизнестойкости предприятия, его умения эффективно использовать свой финансовый, производственный, научно-технический и трудовой потенциалы [1].

В ходе проведенного анализ экономической деятельности, PEST-анализа, SWOT-анализа и анализа конкурентов компании ПАО «Аэрофлот» выявлены следующие проблемы влияющие на конкурентоспособность компании: Большая текучесть кадров (нехватка высококвалифицированного летного состава из-за низкой система мотивации летного состава); Недостаточное количество услуг компании предоставляемых на борту; Большие затраты на техническое обслуживание.

С целью устранения проблем и повышения конкурентоспособности компании ПАО «Аэрофлот» предлагаются к проведению следующие мероприятия: Совершенствование управления персоналом за счет внедрения эффективного трудового контракта для бортпроводников; Внедрение 3D-печати деталей для ремонта парка воздушной техники; Снабжение всех самолетов компании портативными зарядными устройствами с целью повышения удовлетворенности клиентов.

После внедрения предложенных мероприятий будет наблюдаться следующее: уменьшение текучести бортпроводников и снижение затрат на подбор и обучение вновь поступившего персонала на 5,2%; снижение затрат на техническое обслуживание ВС на 39,9%; рост выручки компании на 12,7%; рост чистой прибыли на 21,9%; повышение производительности труда сотрудников на 11,3%.

Чистый экономический эффект составит 2885,7 млн. руб. в год. Таким образом, расчеты подтверждают экономическую эффективность предложенных мероприятий.

Литература

1. **Перцовский Н.И.** Международный маркетинг // Н.И. Перцовский, И.А. Спиридонов — Москва: Высшая школа, 2010. — 239 с.

Т.А. Беспалова, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ (НА ПРИМЕРЕ ООО «УДРБРОКК»)

Эффективную реализацию производственных процессов в развивающейся рыночной среде способны обеспечить современные подходы к управлению материальными потоками, позволяющие оптимизировать процесс товародвижения от материального обеспечения до сбыта готовой продукции. В производственном процессе трудовые операции сочетаются с естественными процессами, в которых изменение предметов труда происходит под влиянием сил природы без участия рабочего, например, сушка окрашенных деталей на воздухе, охлаждение отливок и т.д. [1].

Целью производственной логистики является точная синхронизация производственного процесса и логистических операций во взаимосвязанных подразделениях.

В рассматриваемой компании ООО «УДРБРОКК» проанализирована действующая система управления материальными потоками в основном производстве предприятия. В результате анализа были выявлены проблемы производственного процесса на участке изготовления гидроцилиндров. Данные проблемы были связаны с простым оборудованием и временем изготовления гидроцилиндра в целом.

Автором разработаны мероприятия по организации управления материальными потоками в производственной логистике в компании ООО «УДРБРОКК». Приобретение станков с Числовым программным управлением (ЧПУ) на предприятии позволило сэкономить время длительности технологического цикла на участке изготовления гидроцилиндров, повысить оборот продукции, снизить операционные расходы, а также увеличить прибыльность компании.

С приобретением станка с ЧПУ затраты на производство составят 10 694 600 рублей, что на 169 640 (1,56%) рублей меньше, по сравнению с его отсутствием, а экономия времени длительности технологического цикла на участке изготовления гидроцилиндров предприятия за месяц может составить 188,37 часов.

Литература

1. **Жариков В.Д., Жариков В.В.** Производственная логистика: Учебно-методическое пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Техн. Ун-та, 2017.

О.М. Череп, студ.; рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОТИВАЦИЕЙ РАБОТНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «ДЕТСКИЙ МИР»)

Поиск, отбор и адаптация персонала представляет собой ключевую роль в успешной и качественной работе любого предприятия. В связи с этим, необходимым является повышение уровня системы мотивации сотрудников.

Проблемы мотивации являются одними из самых распространенных и актуальных в организациях любого уровня, и исследуются с позиции разных научных отраслей.

В ходе проведения анализа практики мотивации в ПАО «Детский Мир» было выявлено, что компания стремится максимально полно соответствовать требованиям и ведет активную деятельность по развитию персонала, направленную на рост мотивации сотрудников

В процессе SWOT-анализа ПАО «Детский Мир» получилось выявить сильные и слабые стороны действующей системы мотивации персонала на предприятии. К сильным сторонам можно отнести наличие системы наставничества и постоянное повышение уровня квалификации работников, посредством проведения тренингов, семинаров. К слабым сторонам можно отнести то, что положение об адаптации персонала является неполным, недостаточную численность работников отдела кадров, недостаточный благоприятный уровень взаимоотношений в коллективе. На основе всего этого были разработаны следующие рекомендации: доработка положения об адаптации персонала, увеличение численности работников отдела кадров, формирование обратной связи с сотрудниками.

На основании проведенного расчета экономической эффективности совершенствования социально-психологического климата и организационной культуры в ПАО «Детский мир» можно сделать вывод, что годовой эффект составит — 103 084 руб.

Срок окупаемости данного проекта составит 1,3 года, рентабельность инвестиций — 1,7, внутренняя норма доходности — 55%.

Внедрение на предприятии эффективной системы мотивации с корректировкой организационной среды позволит оптимизировать объем получаемой прибыли, а также повысить эффективность всего процесса управления персоналом в компании.

Поставленные задачи решены и цель по разработке системы мотивации сотрудников ПАО «Детский Мир» достигнута.

Литература

1. **Котова Л.** Ключевые показатели эффективности системы управления персоналом / Л. Котова // Кадровик. — 2018.

П.Ю. Когай., студ.; рук. Н.Л. Кетоева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СКЛАДСКОГО ХОЗЯЙСТВА (НА ПРИМЕРЕ ООО «СМАРТ-ТЕРМО»)

Рыночная стратегия развития экономики России требует сбалансированного развития всех отраслей народного хозяйства — как отраслей материального производства, так и инфраструктуры.

Складское хозяйство является материально-технической базой системы снабжения и сбыта, от нее зависит качество и эффективность обеспечения потребителей материальными ресурсами [1].

ООО «Смарт-Термо» — частная коммерческая организация, присутствует на рынке с 2007 г. Это сервисная организация, занимается оказанием услуг по обслуживанию и ремонту всех видов автомобильной и тракторной техники. Одним из направлений развития предприятия является расширение спектра оказываемых услуг и удовлетворение потребности в запасных частях, оборудовании и комплектующих сторонних клиентов.

В ходе проведения анализа текущего состояния складского хозяйства выявлено, что на складе отсутствует современная механизация и автоматизация оборудования. Стеллажи не обеспечивают быстрый поиск и перемещение товара.

Для обеспечения расчета экономической эффективности были взяты данные за последние 3 года. По основным показателям, характеризующим то или иное складское помещение, был произведен расчет эффективности использования складского помещения предприятия. Выявлено, что у склада существует возможность увеличить нагрузку.

Оптимальным является оснащение уже имеющихся складских площадей автоматизированными складскими комплексами запчастей (автозапчастей) Car Parts Storage на основе автоматического карусельного склада KARDEX MEGAMAT RS с различной нагрузкой на полку. Решение от Kardex предоставляет нам новый способ легкого и экономически эффективного хранения мелких деталей, таких как свечи зажигания, лампочки, уплотнительные кольца, винты, батареи, шурупы и т. д.

Модернизация складского помещения за счет внедрения автоматического склада запасных частей позволила улучшить основные показатели эффективности использования складского помещения, а именно коэффициент использования площади склада возрос на 0,02, коэффициент использования объема возрос на 0,021, удельная средняя нагрузка возросла на 0,1 т/м², а грузонапряженность возросла на 0,71 т/м².

Это свидетельствует о правильности внедренных рекомендаций.

Литература

1. **Щербаков, В.В.** Автоматизация бизнес-процессов в логистике / В.В. Щербаков, А.В. Мерзляк, Е.О. Коскур-Оглы. — М.: Питер, 2016.

Н.Е. Лебедева, студ.; рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЛОГИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДИРОВАНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «СИЛИКОН МСК»

Многие компании сталкиваются с рядом экономических и организационных проблем при выполнении своей деятельности, решение которых напрямую влияет на существование компании.

На торговом предприятии эффективная работа склада позволяет предприятию торговли обеспечивать спрос на товары постоянно, независимо от изменений в производстве.

Компания ООО «Силикон МСК» работает с юридическими лицами более 10 лет. Исходя из экономической характеристики предприятия, очевидно, что для хозяйственной деятельности предприятия ООО «Силикон МСК» в среднесрочной перспективе стабильна. Почти все операции требуют складских помещений, включая погрузку и разгрузку.

Был проведен SWOT-анализ, который показал недостатки в рекламной политике, слабо развита организация склада, снижение цен у конкурентов.

На основе этого были рассмотрены проблемы складской деятельности компании. Было предложено внедрить откидные перегрузочные мосты и предложить внедрить проект новый продукт компании «Техновизор» — «Система контроля за работой погрузо-разгрузочной техники и водителей». по автоматизации управления складами в компании

Проект рассчитан на 4 года — 2021–2024 гг.

Расчет денежных потоков показывает, что чистая прибыль начинает формироваться с 2023 года в размере 81600 тыс. руб.

Далее был предложен расчет данной экономической эффективности предложенных мероприятий. Для расчета эффективности проекта вначале определены дисконтированные денежные потоки по проекту с учетом коэффициента дисконтирования 7,75%.

За весь период реализации проекта 2021–2024 гг. показатель NPV составит 5001,8 тыс. руб., его значение положительно, следовательно, проект может быть принят и проект будет находиться в зоне безубыточности при обслуживании 1388 клиентов.

Это свидетельствует о правильности внедренных рекомендаций.

Литература

1. **Александров О.А.** Логистика: Учеб. Пособие. — М.: ИНФРА-М, 2020.

Е.Е. Сеньшина, студ.; рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (ИЭИ, НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ООО «РОСПЕНОПЛАСТ»)

Кадровая политика современного предприятия как важнейший инструмент управления персоналом в конкурентных условиях рынка приобретает особую значимость, подчинена стратегии развития предприятия, и представляет собой совокупность принципов, составляющих и методов воздействия на создание надлежащих условий труда, подбор и использование задействованных трудовых ресурсов, их развитие и мотивацию для достижения как стратегически определенных целей, решения намеченных хозяйственных задач, так и социальных и личных проблем работников различных уровней ответственности.

Текущие проблемы кадровой политики были выявлены путем анкетирования работников ООО «РосПенопласт», в котором принимало участие 127 работников предприятия. Наиболее значимыми для дальнейшего развития предприятия оказались низкая эффективность стимулирования производительности труда на основе совершенствования систем оплаты труда (65% ответов респондентов) и несовершенство системы развития персонала (56% ответов).



Рис. 1. Инструменты формирования кадровой политики [1, с.74]

Основными рекомендациями совершенствования кадровой политики выступили: премия за выполнение плана, премия за выслугу лет, мотивация за достижение плана и его перевыполнение, меры повышения кадрового потенциала за счет обучения персонала.

Эффективность предложенных мероприятий будет заключаться в изменении показателей, характеризующих кадровую политику:

- коэффициент оборота по приему снизится на 1,45;
- коэффициент высвобождения должен снизиться на 0,30;
- коэффициент текучести кадров планируется к снижению на 0,34;
- коэффициент общего выбытия работников предприятия должен сократиться на 1,20.

Литература

1. **Мансуров Р.Е.** Настольная книга директора по персоналу. М.: Юрайт, 2020.
2. **Исаева О.М.** Управление человеческими ресурсами. М.: Юрайт, 2020.
3. **Брусенцова Л.С.** Тенденции развития технологий управления персоналом в национальных моделях менеджмента // ЕЮЖ. 2020. № 1.

А.С. Дерябин, студ.; рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ ООО «ПОЗИТИВ БИО»

Современная ситуация на мировых рынках, в том числе российском, характеризуется высокой степенью неопределенности внешней среды. В связи с этим резко возросла роль стратегического планирования, которое позволяет предприятию выживать в конкурентной борьбе в долгосрочной перспективе. Стратегическое планирование как основа для принятия эффективных управленческих решений нуждается в постоянном совершенствовании.

Практическая часть работы проводилась на базе ООО «Позитив БИО». На предприятии стратегическое планирование не носит комплексного характера, не включает стратегический анализ, имеет короткий горизонт планирования, поэтому поставленные перед компанией цели не достигаются. SWOT-анализ и анализ портфеля с использованием матрицы БКГ позволили выявить проблемы в стратегическом планировании и предложить переход от стратегии ограниченного роста к стратегии снижения или стратегии восстановления и реструктуризации портфеля.

Результатом реализации стратегии снижения будет удержание выручки и прибыли на приемлемом уровне, пока не будет принято решение о дальнейших путях развития компании. Результатом использования стратегии восстановления и реструктуризации портфеля будет реализация потенциала компании и снижение рисков от перехода имеющихся продуктов в стадию упадка.

Дисконтированные денежные потоки от реализации обеих стратегий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Дисконтированные денежные потоки

| Стратегия/Год | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|--|--------|--------|--------|-------|-------|
| Стратегия снижения | 1 279 | 1 493 | 1 493 | 1 493 | 1 493 |
| Стратегия восстановления и реструктуризации портфеля | -3 323 | -3 608 | -3 166 | 428 | 7 141 |

Дисконтированные денежные потоки в обоих случаях положительные, значит, внедрение мероприятий в рамках этих стратегий целесообразно.

Литература

1. **Ансофф И.** Стратегическое управление. М.: Экономика, 2017.
2. **Веснин Р.В.** Стратегическое управление. М.: Проспект, 2018.

А.М. Папичев, студ.; рук. М.А. Киселева, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ТОЙОТА МОТОР»)

В настоящее время внедряемые методы и формы управления, организационные структуры, часто не являются достаточно эффективными и не достигают своих целей. Поиск высококвалифицированных работников и удержание их в организации является актуальной проблемой в условиях развития современной экономики. Для решения данной проблемы может помочь четкая разработанная кадровая политика организации.

Кадровая политика представляет собой целенаправленную деятельность, которая ориентирована на формирование такого кадрового состава предприятия, который за счет своих количественных и качественных характеристик будет способствовать достижению целей, стоящих перед деятельностью экономического субъекта.

В ходе проведения анализа кадровой политики ООО «Тойота Мотор» было выявлено, что текучесть кадров составляет 13,3%, а это говорит о том, что повышение текучести кадров вызывает риск нестабильности трудового коллектива и свидетельствует о том, что сотрудники недостаточно удовлетворены своим пребыванием в коллективе.

В процессе проведения анкетирования сотрудников отдела сервиса ООО «Тойота Мотор», в опросе приняли участие 21 человек, из них 3 из управленческого персонала и 18 из производственного персонала выявлено, что большая часть сотрудников не удовлетворены оплатой труда.

На основе всего этого были разработаны следующие рекомендации: внедрить систему карьерного роста и награждать лучшего сотрудника месяца материальными средствами.

Для расчёта сокращения текучести кадров, были взяты данные за последние 3 года по коэффициенту текучести кадров. Исходя из расчёта эффект от снижения текучести персонала с 13,3% до 7,6% составит 189 203 520 руб. Социальной эффективности заработной платы, а также критерий социальной эффективности заработной платы имеют большее значение после дополнительных выплат, а коэффициент социальной эффективности заработной платы до и после внедрения дополнительной выплаты принимает значение больше единицы, а это значит, что уровень средней заработной платы обеспечивает развитие рабочей силы.

Поставленные задачи решены и цель по разработке совершенствованию кадровой политики предприятия ООО «Тойота Мотор» достигнута.

Литература

1. **Акбулатова А.М.** Основные направления совершенствования кадровой политики / А.М. Акбулатова // «Научно-практический журнал Аллея Науки». — 2018. — № 1 (17). — С. 1–4.

А.Д. Митрофанова, студ.; рук. М.В. Патуроев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛУЖАЩИХ ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПФР № 6 ПО Г. МОСКВЕ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ»

В современном мире во многих развитых странах остро стоит проблема оценки эффективности работы служащих госучреждений. Актуальность данного вопроса заключается в том, что от уровня эффективности деятельности служащих, уровня процессов обслуживания зависит обеспечение достойного уровня жизни людям, не имеющим трудовых доходов в будущем. Кроме того, в связи с быстрыми изменениями в социально-экономических условиях, усложнением социально-экономической системы требуется пересмотр существующих методов управления государственной службой и проведение мероприятий по повышению эффективности самих служащих.

Эффективность труда — это степень результативности труда, уровень результативности выполнения рабочих операций [1].

Для оценки эффективности труда служащих государственного учреждения «ГУ ПФР №6» в рамках настоящей работы было проведено исследование методом фотографии рабочего времени.

Данное исследование показало, что существуют значительные резервы повышения эффективности деятельности служащих.

Исходя из вышесказанного выработаны следующие предложения, направленные на повышение эффективности деятельности служащих «ГУ-ГУ ПФР №6»:

1. Введение ограничений на нахождение специалистов на рабочем месте с личными сотовыми телефонами
2. Модернизация сервера ГУ «ГУ ПФР №6»
3. Внедрение системы ежемесячной проверки работоспособности периферийного оборудования
4. Уменьшение объема бумажного документооборота
5. Внедрение в ГУ «ГУ ПФР №6» системы мотивации персонала на основе показателей КРІ

Реализация предложенных мероприятий позволит увеличить эффективность служащих главного управления, и сократить численность сотрудников, что не отразится на полном и своевременном выполнении возложенных на главное управление функций.

Литература

1. **Галиуллин Х.Я., Ермаков Г.П., Симонова М.В.** Понятие эффективности труда // Экономика труда. — 2019. — Том 4. — № 3. — С. 183–196.

Ф.А. Кочарян, студ.; рук. Е.В. Суворова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОДАЖ В КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «МАГНИТ»)

Актуальность темы состоит в том, что каждая компания в процессе своей деятельности прибегает к необходимости реформирования, модернизации как определенной части, например, системы продаж, так и всей в целом.

Под реформированием системы продаж понимают постепенное изменение системы продаж, которое направлено на улучшение функционирования данного подразделения, а следом и улучшение функционирования всей компании. [1]

В процессе проведения анализа сайта компании, ее финансовой отчетности, годового отчета, источников информации о рынке, на котором находится компания ПАО «Магнит», опросах покупателей и других источниках были сделаны выводы о наличии проблем:

1. не до конца завершенная мультиформатная модель продаж, которую можно было бы реформировать, добавив элементов и создав единый механизм с использованием развитой службы доставки;
2. снижение числа покупателей из-за очередей в связи с повышенным потоком клиентов.

После выявленных проблем в компании ПАО «Магнит» были разработаны предложения по реформированию системы продаж:

1. развитие интернет-продаж и системы доставки товаров, которые были заказаны через мобильно приложение и сайт;
2. проект сбора готового заказа клиентам к определенному времени «готовая корзина»;
3. замена во всех магазинах «Магнит у дома» стандартных касс с работниками на кассы самообслуживания.

Для расчета экономической эффективности разработанных предложений по реформированию системы продаж в компании ПАО «Магнит» были использованы данные из различных средств массовой информации, открытых источников статистических данных, информации о конкурентах, о внедренных мероприятиях компании в прошлых периодах и отчетности.

Экономический эффект составил увеличение выручки компании на 1,03%, чистой прибыли на 72,7%, увеличение рентабельности предоставления услуг на 0,5%. Произошло снижение очередей на 25%, а количество людей, использующих доставку выросло на 1%.

Поставленные задачи решены и цель по разработке программы реформирования системы продаж в компании ПАО «Магнит» достигнута.

Литература

1. **Бусов, В.И.** Управленческие решения. Учебник для академического бакалавриата — В.И. Бусов. — Москва Издательство Юрайт, 2019. — 254 с.

И.А. Борисова, студ.; рук. В.А. Епифанов, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ В СБЫТОВОЙ ЛОГИСТИКЕ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ЛЕГИОН»)

Одним из ключевых факторов эффективной сбытовой деятельности на предприятии торговли является формирование ассортимента продукции. В последние годы в оптовой и розничной торговле остро стоит вопрос с увеличением конкуренции на рынке. Повышение конкурентоспособности компании возможно за счет совершенствования ассортимента для удовлетворения потребительского спроса и привлечения новых покупателей [1].

На примере ООО «Легион», проведён анализ эффективности ассортимента продукции, а также были предложены методы совершенствования ассортимента продукции. В компании разработана четкая и эффективная система формирования ассортимента, дальнейшая работа была направлена на совершенствование ассортимента продукции.

Ключевой проблемой формирования ассортимента на тактическом уровне является закупка неликвидных товаров у недобросовестных поставщиков из Китая.

По результатам ABC-XYZ — анализа были выявлены категории товаров, пользующиеся малым спросом у покупателей. Предложением является замена неликвидных товарных позиций, за счёт внедрения в ассортимент продукции поставщика «East China» во избежание несоответствующих и бракованных комплектов. Необходимо вместо торговой марки «XADO» закупать более востребованную продукцию торговых марок Mobil, Motil, Total Quartz INEO, ZIC, ENEOS, ELF Evolution 900 SxR 5w-40 в связи с тем, что спрос на данные торговые марки у компании очень велик.

Были предложены мероприятия по совершенствованию ассортиментной продукции на предприятии ООО «Легион» к которым относятся: постоянные мероприятия по контролю качества комплектующих.

Таким образом, при проведении экспертизы качества компания «Легион» полностью возместит сумму денежных средств, потраченную на проведение экспертизы, а экономический эффект (прибыль) от мероприятий составит 630000 рублей в год, минимизируя при этом случаи брака, а также повысив при этом качество бренда и уровень продаж торговой марки ACS Termal.

Литература

1. **Бузукова, Е.А.** Мерчендайзинг. Курс управления ассортиментом в рознице. — СПб.: Питер, 2018. — 256 с.

Н.Е. Прошкин, И.И. Чартаев, студ.;
рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ (НА ПРИМЕРЕ «ГБУ ЦПСИД ЗЮЗИНО»)

В настоящее время основным элементом для любой организации является персонал, ведь без него обойтись нельзя. А значит, его мотивация способствует как получению прибыли, так и в целом существованию предприятия. Ведь без должного стимула теряется мотивация продуктивно работать, да и вовсе оставаться в компании.

В ходе хозяйственно-экономического анализа организации ГБУ ЦПСИД «Зюзино» был выявлен коэффициент текучести кадров, который превышает норму и равняется 12,6%. С учетом этого факта выясняется, что некоторые сотрудники не мотивированы оставаться в организации, и как следствие предприятие несет лишние расходы на поиск и отбор, а также повышение квалификации новых сотрудников.

В рамках совершенствования системы мотивации труда на предприятие ГБУ ЦПСИД «Зюзино», рекомендуется:

1. При отборе кадров ввести этап мотивационного опроса, который поможет отсеять непригодных кандидатов.
2. Сформировать сплоченный коллектив, так как в дружеской и комфортной атмосфере работать гораздо приятней.
3. Произвести перераспределение рабочей нагрузки, для того чтобы персонал не работал на пределе своих сил.
4. Ввести систему нематериальной мотивации для лучшей стимуляции коллектива.

Внедрение данных мероприятий совершенно экономически не затратно и способствует снижению коэффициента текучести кадров к нормальным значениям от 3% до 6%, и повышению мотивации для более эффективной работы в ГБУ ЦПСИД «Зюзино».

Литература

1. **Михалкиной Е.В.** Мотивация, стимулирование и оплата труда: учебник / Е.В. Михалкина, Л.С. Скачкова; Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону, 2017. — 337 с.

С.А. Глубоков, студ.; рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОДУКТОВ В СЕГМЕНТЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

В век высоких технологий всё более востребованным становится их применение как в IT-проектах, различных отраслях и сферах деятельности, так и в повседневной жизни человека.

Определение понятия высокотехнологичной продукции: «Высотехнологичная продукция — это продукция, выпускаемая предприятиями наукоемких отраслей, произведенная с использованием новейших образцов техники и технологий, с участием высококвалифицированного, специально подготовленного персонала, воплощающая современные научные достижения, передовой опыт и обладающая высокой социально-экономической эффективностью».

Применение искусственного интеллекта и новых технологий активно используется при производстве потребительской электроники и является неотъемлемой частью большинства электронных приборов. К ним относятся как сложные многозадачные ИИ-системы, так и продукты узкой направленности, включая беспроводные пылесосы, подразделяющиеся на подгруппы роботы-пылесосы и вертикальные пылесосы.

Рынок высокотехнологичных продуктов бытовой электроники согласно исследованию компании GVR на 2019-й год составил 32,3 млрд.\$, а за период с 2020–2027 г. его рост составит не менее 14%. Стремительное развитие в сфере IT и беспроводных технологиях существенно упрощает интеграцию потребительской электроники в экосистему «умного дома» и реализацию дистанционного управления бытовой техникой, что существенно упрощает повседневную жизнь пользователя.

Литература

1. **Иванченко А.Г.** Понятие высокотехнологичной продукции. Анализ российской и зарубежной литературы / А.Г. Иванченко, Д.С. Ушаков. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 17 (203). — С. 178–180. — URL: <https://moluch.ru/archive/203/49692/> (дата обращения: 17.11.2021).
2. **Компания GVR (GrandViewResearch).** Исследование «Емкость рынка «Умной» потребительской электроники, анализ тренда и доли» <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-home-appliances-market>

А.Е. Юшерева, студ.; рук. О.В. Колесникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИВЛЕЧЕНИЕ МЕДИЙНЫХ ЛИЦ КАК ИНСТРУМЕНТ PR-КАМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «ВТБ»)

В настоящее время одним из наиболее широко применимых инструментов PR-кампании является привлечение медийных личностей. Создание положительного и даже безупречного имиджа организации редко обходится без участия известных лиц. Так и деятельность ПАО «ВТБ» в сфере пиара невозможно представить без вовлечения заметных персонажей общественной жизни.

PR-кампания в отличие от рекламной нацелена на создание рынка «завтрашнего дня», то есть она предварительно подготавливает благоприятную почву для клиентов, которая будет представляться выигрышной и для организации. Целью подготовки такой почвы для потребителей товаров/услуг компании является ориентация их в будущем таким образом, чтобы они могли в нужный для организации момент принять необходимое для нее решение. В банковской сфере в отличие от рекламы, которая нацелена на формирование спроса на рынке банковских услуг, PR-кампания нацелена на создание позитивного общественного мнения [1].

Таблица 1. Динамика активов ПАО «ВТБ» на 2020–2021 годы

| | 2020 | 2021 | Абсолютное изменение, млрд. рублей | Относительное изменение, % |
|-------------------------|---------|---------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Активы, млрд. рублей | 15516,1 | 18142,2 | 2626,1 | 116,9 |

Анализируя динамику активов ПАО «ВТБ» на 2020–2021 годы [2] можно сделать вывод, что показатель относительного изменения активов достиг 116,9% не только из-за большого количества услуг, предоставляемых банком (и некоторых других факторов), но и благодаря Команде ВТБ, которая была создана из медийных лиц в 2020 году. Команда была сформирована не только для продвижения и популяризации банковских услуг, но и для увеличения узнаваемости банка, повышения лояльности среди потребителей. Участие звезд разного уровня в рекламных роликах — это подтверждение статуса организации, который ПАО «ВТБ» необходимо поддерживать на высоком уровне.

Литература

1. **Жильцова О.Н.** Связи с общественностью: учеб. пособие для академического бакалавриата / О.Н. Жильцова, И.М. Синяева, Д.А. Жильцов. — М.: Издательство Юрайт, 2019.
2. **Банк ВТБ** — официальный сайт международной финансовой группы ВТБ [Электронный ресурс] — URL <https://www.vtb.ru>

Д.К. Шецьков, студ.; рук. Е.С. Орлова, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МАРКЕТИНГ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Формирование рынка и рыночных отношений в инновационной сфере способствовало развитию маркетинга инноваций (маркетинга наукоемкой продукции) как специфического направления деятельности инновационных фирм.

Маркетинг инноваций — это новации в сфере маркетинга как инструментов рыночного управления на предприятии [1].

Роль маркетинга в инновационном развитии предприятия заключается в реализации инновационной деятельности так, чтобы организация обмена и коммуникации между потребителями инноваций и предприятиями способствовали эффективному совпадению спроса и предложения на инновационные продукты, технологии и услуги.

Стереотек — это производитель 5D принтеров и разработчик технологии многоосевой FDM печати 5D additive manufacturing (5Dtech), резидент Фонда «Сколково».

За 2018–2020 год выручка компании уменьшилась на 1545 тыс. руб. и составила 2794 тыс. руб., а чистая прибыль уменьшилась с 437 до 407 тыс. руб. Причиной этому послужила сложная эпидемиологическая ситуация с COVID-19, где компании-покупатели сократили объёмы производства, следовательно уменьшились заказы принтеров и другой продукции у ООО «Стереотек».

На основании имеющихся данных можно предложить следующие мероприятия для улучшения экономической ситуации компании:

1. Предоставление льготных кредитов для покупателей с целью снижения экономической нагрузки на них и удержание сегмента рынка нашей компании на доковидном уровне для сохранения высокой выручки.
2. Повышение цены на продукцию из-за роста цены комплектующих продукции (электроника и т.д.), но при покупке от 2-х принтеров полагается скидка в размере 20% и скидка до 40% на расходные материалы для принтеров, что стимулирует спрос со стороны потребителей. Также достоинством является оригинальный 5D-принтер, не имеющий аналогов в мире, что даст компаниям преимущество во времени и в материальных ресурсах в текущей эпидемиологической обстановке.

При осуществлении данных мероприятий ожидается стабилизация экономической ситуации компании и её дальнейший устойчивый рост.

Литература

1. **Кухарская Н.А., Новошинская Л.В.** Маркетинг инноваций: Учебное пособие. — Одесса: «Атлант VOI COIU», 2016. 215 с.

А.А. Гарипов, асп.; рук. А.Г. Бадалова, д.э.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время преобладающее большинство предприятий функционируют в высококонкурентной среде и сталкиваются с сильной конкуренцией практически во всех сферах деятельности. Основными факторами конкурентоспособности предприятия является качество и цена продукции, реклама и продвижение выпускаемой продукции, инновационная составляющая продукта и т.д. [1].

Для потребителей, в большинстве случаев, решающим фактором приобретения продукции является соотношение цены и качества, с преобладающим значением цены. Для предприятий, функционирующих в конкурентной динамично меняющейся среде для обеспечения и поддержания своей конкурентоспособности необходимо обосновано выбирать и реализовывать наиболее результативную и эффективную стратегию ценообразования. Решение данной научно-практической задачи предопределяет необходимость формирования соответствующего инструментария и исследования влияния стратегии ценообразования на конкурентоспособность предприятия.

В последнее время на фоне роста стоимости сырья для изготовления продукции, ослабления курса рубля, повышения затрат на логистику и пр. решение указанной задачи приобретает особую актуальность. [2]

Литература

1. **Габимова М.Ш.** Пути повышения конкурентоспособности предприятия / М.Ш. Габимова // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы III Международной научной конференции (г. Москва, июнь 2015 г.) — М.: Буки-Веди, 2015.
2. Минэкономразвития прогнозирует подорожание непродовольственных товаров на 7,2% к концу 2021 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://russian.rt.com/business/article/915371-minekonomrazvitiya-ceny-prognoz>

Е.Н. Кеменов, асп.; рук. А.В. Варганова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

PR-КАМПАНИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ

В условиях современного отечественного бизнеса связи с общественностью становятся все более значимой сферой деятельности крупных компаний. Развитие рынка, интенсификация коммуникаций, цифровизация способствуют тому, что организациям требуется устанавливать информационные связи с партнерами, потребителями, общественностью.

Двусторонние коммуникации являются инструментом для мониторинга и прогнозирования, как ситуации на рынке, так и мнения аудитории на деятельность организации [1].

В энергетике PR-сопровождение — это уникальная и специфичная услуга, которая должна учитывать особенности отрасли и основные тренды в энергетике.

Кроме того, в силу сложности технологий индустрии, информация должна быть адаптирована в зависимости от того, кому она предоставляется, чтобы избежать дальнейшего разочарования, потери интереса и в конце — потери имиджа.

Пиар в энергетике направлен, как на создание положительного имиджа и формирование деловой репутации энергетических организаций, так и на создание имиджа государства в рамках страны и за рубежом.

Существующие методы и способы управления PR-деятельностью в энергетике направлены на информирование населения о значимости энергетической отрасли страны, о ее влиянии на экономику, и слабо отражают особенности энергоперехода и его роли для каждого.

Все больше и больше появляется инфоповодов в СМИ, связанных именно с энергетикой. В СМИ широко и доступно представляют информацию о состоянии топливно-энергетического комплекса страны, перспективах его развития, большое внимание уделяется технологиям энергосбережения. Но если задуматься, то, что остается после этих новостей у слушателей?

В данной работе проведено исследование и анализ особенностей управления PR-деятельностью, существующих методов и подходов к организации PR-мероприятий в энергетической отрасли Российской Федерации, а также сделаны выводы об актуализации существующих подходов.

Литература

1. **Громов, В.** PR в энергетике. Самара: Издательский Дом «Бахрах-М», 2013.

И.А. Клитной, асп.; рук. А.В. Варганова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА 4.0

Перспективы роста нагрузок в Российской Федерации обуславливают необходимость введения в работу новых источников электрической энергии. Но встает вопрос о том, какой тип (атомные, тепловые, гидроэлектростанции или электростанции на солнце и ветре), мощность и место установки данных источников предполагается из допустимо возможных вариантов.

В российской энергетике наблюдается тенденция увеличения числа и мощности атомных электростанций, работающих в условиях энергосистемы РФ.

Однако мировые энергетические тренды повлияли на энергетику Российской Федерации. В 2020 г. введена в действие Энергетическая Стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. Согласно данным Стратегии электроснабжение «...удаленных и изолированных территорий на основе использования возобновляемых источников энергии» составит к 2024 году — 6%, а к 2035 году 17% относительно уровня 2020 г.

Кроме того вводятся новые регулирующие документы, направленные на упрощение продажи мощности в сеть источниками малой генерации (11 декабря 2019 г. внесены изменения в федеральный закон № 35-ФЗ «...в части развития микрогенерации» (проект № 581324-7)).

Очевидным является факт увеличения числа источников малой генерации, работающих на природном газе. Данный вид генерации получил широкое распространение для различных типов потребителей (городских, промышленных, сельских).

Указанные тенденции уже сейчас приводят к необходимости решения задач по выбору оптимальной мощности, числа и места расположения источников малой энергетики [1].

Данная работа посвящена рассмотрению существующих методик, направленных на оценку эффективности внедрения новых источников электроэнергии, а также разработке подхода, учитывающего особенности изменений отрасли в условиях энергоперехода 4.0.

Литература

1. **Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Кокин С.Е., Паздерин А.В.** Оптимизация местоположения и мощности малой генерации в распределительных сетях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2012. — № 1–2. — С. 82–89.

А.П. Гонтарь, студ.; рук. М.Н. Мызникова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМАТ «МАГАЗИН БЕЗ ПРОДАВЦА» — ФОРМАТ БУДУЩЕГО: КАК ЭТО БУДЕТ?

Инновационные технологии затрагивают все сферы деятельности человека и процесс внедрения разработок активно продолжается и в розничной торговле. Формат гипермаркета теряет лидирующую позицию и россияне предпочитают делать покупки в магазинах формата «У дома». Почему? Одним из главных конкурентных преимуществ компаний, торгующих в розницу — является скорость обслуживания покупателей, т.к. этот фактор оказывает наибольшее влияние на предпочтения потребителей и формирование их спроса. Получить такое преимущество возможно при организации торгового обслуживания без продавцов.

Уже сейчас идёт разработка концепции «Магазин без продавца». Это мини-магазин площадью 18 м², предполагающий ассортимент из 500 продуктов питания и непродовольственных товаров. Для процесса шоппинга необходим смартфон, чтобы сканировать QR-код, который идентифицирует покупателя и открывает дверь в магазин. После сканирования штрих-кодов товаров оплата происходит через банковскую платежную систему смартфона. Данный формат не подразумевает отказ от использования человеческих ресурсов совсем: в магазинах могут присутствовать консультанты (особенно на первоначальном этапе работы), контролирующие продажу алкогольных напитков и табачных изделий. Аналогичные проекты активно развиваются во многих странах мира.

Данный формат проекта возможно внедрить и в российский ритейл. Но отечественный потребитель может быть не готов психологически к данному новшеству (менталитет, недоверие возрастного поколения к безналичному расчёту) и технически (банки должны выстроить систему цифровой идентификации личности, привязки к расчётному счёту и т.д.).

Концепция «умного магазина» позволяет значительно сократить штат сотрудников, что повлечёт уменьшение расходов на заработную плату, но в большей степени нововведения направлены на сокращение времени процесса шоппинга, что возможно лишь в случае активной цифровизации торгового процесса.

Литература

1. **Андрусенко М.В., Ярошевич В.С.:** Новый тренд в российском ритейле «Магазин без продавцов»: в сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. 2018. С. 153–155.

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
Захаров Сергей Витальевич

Секция 32
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
Industrial electric power engineering

Председатель секции: к.т.н., доцент Цырук Сергей Александрович

Секретарь секции: Кулешова Галина Сергеевна

В.В. Шаржанов, студ.; рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В процессе функционирования деревообрабатывающих предприятий образуется значительное количество отходов производства, утилизация которых является достаточно дорогостоящим мероприятием. Данная технологическая особенность этих предприятий приводит к увеличению их издержек и, соответственно, к уменьшению прибыли. Для решения этой проблемы предлагается проанализировать возможность и эффективность внедрения объектов собственной генерации [1], работающих на отходах деревообрабатывающего производства. Реализация такого подхода к решению проблемы в перспективе позволит:

- снизить расходы предприятия на утилизацию отходов производства;
- обеспечивать инфраструктуру собственной электроэнергией и сокращать расходы на ее потребление от внешнего источника;
- осуществлять продажу электроэнергии и мощности на розничном рынке электроэнергии и мощности (РРЭМ).

В работе проанализирована возможность создания автономных энергетических комплексов на основе паротурбинных, газотурбинных и газопоршневых установок малой мощности [2], предложены способы построения систем электропитания деревообрабатывающего предприятия с учетом интеграции данных энергокомплексов, разработана технико-экономическая модель оценки эффективности [3] внедрения автономных энергокомплексов, работающих древесных отходах, произведен расчёт экономической эффективности внедрения.

Результаты исследования могут быть применены для оценки эффективности создания автономных энергокомплексов, функционирующих на отходах производства с целью уменьшения издержек предприятий деревообрабатывающей отрасли.

Литература

1. **Казанов М.С.** Разработка алгоритма оптимизации параметров и комплексной оценки эффекта внедрения локальных источников питания в системах электропитания потребителей с распределенной генерацией: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 // Москва, 2017. 20 с.
2. **Лозенко В.К., Михеев Д.В.** Управление энергоэффективностью и устойчивое развитие организаций // Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 284 с.
3. **Климовец О.В.** Модели оценки эффективности инвестиций в систему собственного энергообеспечения промышленного предприятия: автореферат дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.13. Москва, 2017. 28 с.

А.А. Дюдяков, студ.; рук. С.А. Янченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Всё более широкое применение получают приемники электроэнергии с нелинейными вольтамперными характеристиками. Кроме того, использование возобновляемых источников электроэнергии, которые подключаются к сети через инверторы напряжения, приводит к дополнительным проблемам, связанным с подавлением высокочастотных гармоник выбрасываемых в сеть инверторами и возникновением резонансов между емкостными элементами сглаживающих фильтров электронных преобразователей, а также емкостью устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) и индуктивным сопротивлением сети. В результате этого уровень высших гармоник может возрасти в несколько раз.

Способы решения проблем вызываемых резонансами в системе электроснабжения можно разделить на следующие базовые группы:

- удержание резонансных частот как можно дальше от гармоник имеющих значительные амплитуды;
- подавление резонансов с помощью гибридных активных фильтров [1];
- подавление резонансов с помощью активных фильтров [2].

В рамках работы проведен обзор методов решения проблем с резонансами и способов их реализации. По результатам обзора выявлено, что наиболее перспективным для проведения дальнейших исследований является метод подавления резонансов при помощи активных фильтров [2]. Поскольку именно данный способ подавления резонансов позволяет справляться с новыми проблемами, которые неизбежно возникнут в перспективе развития возобновляемой энергетики и наполнение сети большим количеством электронных силовых преобразователей. Также установлена структура экспериментальной установки перспективного активного фильтра для подавления резонансных явлений.

Литература

1. **H. Fujita, T. Yamasaki and H. Akagi**, “A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial power systems,” PESC 98 Record. 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (Cat. No.98CH36196), Fukuoka, 1998, pp. 209–216 vol. 1, doi: 10.1109/PESC.1998.701901.
2. **X. Wang, F. Blaabjerg and M. Liserre**, “An active damper to suppress multiple resonances with unknown frequencies,” 2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition — APEC 2014, 2014, pp. 2184–2191, doi: 10.1109/APEC.2014.6803608.

Г.С. Кулешова, асп.; рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ТРЕХФАЗНЫМИ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Обеспечение качества электрической энергии и улучшение электромагнитной совместимости электроприемников потребителей являются актуальными проблемами в промышленной электроэнергетике. Эффективным решением данных проблем является применение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) [1]. Перспективным направлением в области фильтрокомпенсации является разработка ФКУ на основе гибридных индуктивно-емкостных элементов [2] с улучшенными технико-экономическими характеристиками. В этой связи является актуальной задача расчета и моделирования установившихся и переходных режимов работы электрических сетей, содержащих ФКУ на базе гибридных индуктивно-емкостных элементов.

В работе предложены компьютерные модели для анализа переходных режимов, обусловленных возникновением однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий в распределительных электрических сетях различной конфигурации, содержащих ФКУ на основе гибридных индуктивно-емкостных элементов. Компьютерное моделирование переходных процессов проведено в программной среде MATLAB/Simulink с использованием пакета элементов SimPowerSistem.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке, конструировании и проектировании ФКУ низкого и среднего классов напряжения на основе гибридных индуктивно-емкостных элементов.

Литература

1. **Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г.** Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем // М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 336 с.
2. **Михеев Д.В., Кулешова Г.С.** Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента // Промышленная энергетика. 2020. № 12. С. 9–16.

*А.С. Гудожников, студ.; М.П. Тибряев, студ.;
рук. М.А. Рашевская, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЁТА ТОКОВ В СЕТЯХ НН ПРИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ДУГОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

При проектировании систем электроснабжения очень важен правильный выбор коммутационной и защитной аппаратуры. По требованиям [1] для определения сечений питающих линий и выбора аппаратов необходимо рассчитать значения максимальных токов КЗ с учетом влияния нагрузки, для определения параметров срабатывания аппаратов — их минимальные значения.

В связи с этим начались разработки интерфейса в Matlab App Designer для математической модели в программном комплексе Matlab/Simulink, который должен удовлетворять требованиям [2]. На данном этапе прорабатывается сам интерфейс, чтобы была обеспечена защита от человеческих ошибок при вариативности исходных параметров сети для расчёта тока КЗ.

Вместе с разработкой собственного интерфейса проводился анализ возможностей аналогичных программ для расчёта токов КЗ (Аврал и EnergyCS). Чтобы получить данные по расчёту режима, программам требуется от пользователя ввести данные сопротивлений всех элементов на пути к точке КЗ. Для работы с данными программами требуется высокая квалификация проектировщика, он должен хорошо понимать и знать, как рассчитать данные сопротивления.

При создании нашей программы мы пошли по пути максимального упрощения и обеспечения интуитивности интерфейса по рекомендациям [3]. Диалоговые окна выводят информацию о возможных ошибках при задании исходных данных. Также наша разработка содержит имитационную модель электрической дуги, что используется для корректного расчёта токов при поперечных и продольных замыканиях. Программа может использоваться для изучения влияния нагрузки на сеть, что является несомненным преимуществом перед аналогами.

Литература

1. **ГОСТ 28249-93** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. — М.: Стандартинформ, 1993.
2. **ГОСТ Р ИСО 9241-161-2016** Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 161. М.: Стандартинформ, 2016.
3. **Мантел Т.** Разработка пользовательского интерфейса; Пер. с англ. — М.: ДМК Пресс. — С. 416.

*А.Е. Тамаровский, А.М. Кузнецова, аспиранты;
рук. М.Е. Вихров, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗЛИЧИЯ В СХЕМАХ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИБП

Задача выбора схемы резервирования источников бесперебойного питания на основе технико-экономических показателей представляется поиском наилучшего варианта, удовлетворяющего требуемым условиям при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах. Статические и динамические источники бесперебойного питания имеют различия в своем устройстве, которые влияют на их технические параметры. По этой причине применяемые схемы резервирования у статических и динамических ИБП имеют свои характерные особенности.

Для статических ИБП в зависимости от требуемой надёжности электроснабжения потребителя применяют схемы резервирования «N+1», «2N» и их производные, в некоторых случаях применяют схему «3/2N». В частных случаях выбор оптимальной схемы резервирования можно представить математической моделью выбора количества и мощности статических источников бесперебойного питания [1].

Для динамических применимы все схемы резервирования что и для статических, но отдельное развитие получили схема резервирования «IPbus» (рис.1). В данной схеме резервирования каждый ИБП питает своего потребителя при этом он объединен с другими ИБП общей шиной через изолирующий дроссель. Основной особенностью данной схемы является возможность объединить нагрузку более 5 МВт на стороне 0,4кВ и нагрузить ИБП на 70–80% от их номинальной мощностью без потери в надёжности электроснабжения.

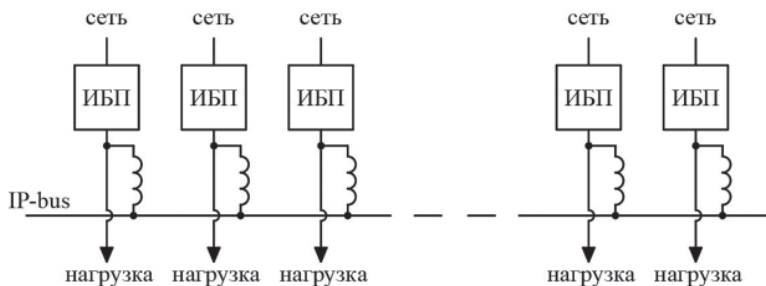


Рис. 1. Схема резервирования «IP-bus»

Литература

1. Карагодин В.В., Полянский К.А., Горин В.А. Структурно-параметрическая оптимизация системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 1.

*Н.В. Данилов, асп.; А.С. Тимонин, студ.;
рук. С.А. Цырук, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО АЛГОРИТМА БАВР

Нормальное функционирование современных промышленных предприятий в значительной степени определяется качеством и бесперебойностью их электропитания. Даже кратковременные перебои питания могут привести не только к нарушению сложных технологических процессов и выходу из строя дорогостоящего оборудования, но и повлечь за собой экологические катастрофы и человеческие жертвы.

В настоящее время на кафедре ЭППЭ НИУ «МЭИ» ведется разработка цифрового устройства БАВР со временем реакции пускового устройства не более 0,2 мс [1, 2]. Использование нового дифференциального принципа распознавания аварийной ситуации позволяет достичь сокращения бестоковой паузы до 35 мс в самых неблагоприятных случаях.

Для полноценной проверки алгоритма БАВР с учетом большого разнообразия типов кратковременных нарушений электроснабжения, характера нагрузки, конфигурации сети, а также сложности процессов, протекающих в обмотках двигателей в переходных режимах, было проведено комплексное математическое моделирование энергосистемы в программном комплексе MatLab (среда SimuLink) [3]. Аналоговые данные переходных процессов, полученные в результате моделирования, экспортировались и загружались с помощью специального программного обеспечения в терминал, имитирующий работу алгоритма БАВР.

Для контроля результатов, полученных в математической модели, а также проверки работоспособности дифференциального алгоритма БАВР в реальных условиях эксплуатации был разработан и собран стенд имитации двигательной и смешанной нагрузки, позволяющий создавать различные аварийные ситуации, а также осуществлять необходимые коммутации.

Литература

1. Патент РФ на изобретение «Способ быстродействующего включения резервного электропитания и устройство для его осуществления» № 2717236. Данилов Н.В., Цырук С.А., Петров В.С., 2020.
2. Патент РФ на изобретение «Способ быстродействующего включения резервного электропитания и устройство для его осуществления» № 2662639. Данилов Н.В., Данилов Р.Н., Цырук С.А. и др., 2018.
3. **Черных, И.В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. — М.: СПб.: Питер, 2008. — 288 с.

А.Р. Байбиченков, студ.; рук. Г.Р. Титова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОНОМНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РАЙОНОВ СТРАНЫ

В настоящее время в России все большую популярность приобретают гибридные электростанции на основе ВИЭ для электроснабжения удаленных объектов страны, изолированных от единой энергосистемы.

Применение ВИЭ для электроснабжения таких объектов достаточно проблематичный вопрос, потому что не всегда бывает экономически целесообразно использовать энергию возобновляемых источников. Однако в тех частях нашей страны, которые являются изолированными от единой энергосистемы, есть возможность использовать различные установки на основе ВИЭ.

В [1] показано, что в автономных гибридных электроустановках основными видами источников энергии являются возобновляемые источники энергии причем чаще всего, используется 2 вида источников, а в качестве гарантированного источника используются либо дизельные электростанции, либо газопоршневые.

В MATLAB Simulink была собрана схема для изучения параметров гибридных электростанций в различных условиях. (Рис. 1)

Для анализа надежности системы электроснабжения на базе ВИЭ с интегрированными накопителями энергии необходимо учитывать тот факт, что выработка электроэнергии на электростанциях с возобновляемыми источниками носит непостоянный вероятностный характер, а также различные эксплуатационные особенности, которые влияют на работу накопителей электроэнергии. Так в [2] были получены результаты, с учетом всех климатических условий, что для достижения нормативного показателя надежности 0,996 для вероятности бездефицитной работы необходимо установить ветропарк суммарной мощностью 20 МВт с накопителями энергии емкостью 2 МВт*ч.

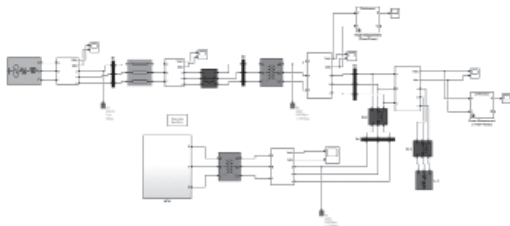


Рис. 1. Схема гибридной электростанции в MATLAB Simulink

Литература

1. **Григораш О.М.** Автономные гибридные электростанции // Научный журнал КубГАУ, №124(10), 2016 года DOI: 10.21515/1990-4665-124-095
2. **Карамов Д.Н., Пержабинский С.М.** Оценка надежности электроэнергетических систем с ветровыми электростанциями и накопителями энергии // Известия Российской Академии Наук. Энергетика № 5, 2018. С. 15–25.

М.Е. Малыш, асп.; рук. Ю.В. Матюнина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЛАНИРОВАНИЕ ГРАФИКА НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ШТРАФНЫХ САНКЦИЙ И ЦЕНЫ НА МОЩНОСТЬ

Управление спросом на электропотребление — развивающийся в нашей стране компонент программ повышения энергетической эффективности [1]. На примере крупного потребителя — технопарка — создан алгоритм планирования суточного графика нагрузки. Оценивалось влияние штрафных санкций и цены на мощность на общую плату за электроэнергию. Алгоритм создания графика базовой нагрузки с учетом штрафов и цены за мощность заключался в выборке данных, создании первичного графика прогноза по средним значениям и его корректировке по двум параметрам: по величине штрафных санкций и цене за мощность. Целесообразность корректировки первичного графика нагрузки рассматривалась в предыдущих исследованиях [2].

Для анализа и построения прогнозных графиков были выбраны почасовые графики нагрузки технопарка с сентября по декабрь. Создание графиков прогноза проходило в несколько этапов. При расчете графиков по данным сентября для прогноза на октябрь почасовые графики были разделены на три группы по дням недели (понедельники и пятницы; вторники, среды и четверги; выходные дни). Для каждой группы данных были рассчитаны базовые графики для прогноза по средним значениям за каждый час. Далее проводилась корректировка графика прогноза по величине штрафных санкций и цене за мощность.

Исследование показало, что при расчёте общей стоимости электроэнергии экономия по скорректированному графику прогноза может составить до 5%. Наиболее пристальное внимание в дальнейших исследованиях стоит обратить на корректировку графика прогноза по величине платы за мощность, так как экономия в течение месяца может оказаться существенной.

Литература

1. Дзюба А.П., Соловьева И.А. Исследование инструментов управления спросом на электропотребление в рамках оптового и розничного рынков электроэнергии России // Экономика, предпринимательство и право. — 2016. — Том 6. — № 2. — С. 147–162.
2. Малыш М.Е. Исследование целесообразности переноса нагрузки предприятия на часы с наименьшим потреблением. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Москва, 2021, С. 633.

Секция 33
ЭНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ
Energy of heat technologies

Председатель секции: к.т.н., доцент Степанова Татьяна Александровна

Секретарь секции: Екимова Виктория Алексеевна

*И.А. Васильченко, Д.С. Глобенко, Е.Е. Ноговицын, студенты;
рук-ли А.А. Валинеева, ст. преп., Е.В. Мотов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ РДФ ТОПЛИВА

Refuse-Derived Fuel — топливо из отходов (РДФ) получается путём предварительной выборки, дробления и обезвоживания твёрдых коммунальных отходов. Во время данных процессов из отходов отбирается горючая часть с максимальной теплотой сгорания [1].

Цель работы состоит в сопоставлении экспериментальных и литературных данных по определению зольности РДФ топлива для дальнейшего использования в теплотехнических расчетах.

Перед началом эксперимента были подготовлены 6 проб РДФ топлива массой до 30 грамм. Образцы состояли из: бумаги, пищевых отходов, дерева, текстиля,

Таблица 1. Зольность РДФ по результатам экспериментов

| № пробы | Зольность, % |
|-------------------|--------------|
| 1 | 6,25 |
| 2 | 7,2 |
| 3 | 7,27 |
| 4 | 8,9 |
| 5 | 8,64 |
| 6 | 8,64 |
| Средняя зольность | 7,817 |

костей, кожи, пластика и прочих отходов. Пробы были помещены в тигли и подвергнуты процессу первичного выжигания на горелке Мекера до получения углистого остатка. Затем тигли поместили в электропечь при температуре 750°C до полного озоления. После эксперимента были получены данные по зольности, представленные в таблице 1, которые соответствуют значениям элементного состава РДФ топлива, представленного в таблице 2 [2].

Таблица 2. Элементный состав РДФ топлива

| С | H ₂ | O ₂ | N ₂ | S | Зола | Влажность |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|-----------|
| 44,86 | 5,7 | 30,19 | 1,19 | 0,26 | 7,8 | 10 |

Полученный в работе результат говорит о том, что данные отходы можно использовать как топливо при производстве, например, электроэнергии, сберегая исчерпаемые природные ресурсы и частично борясь с экологической проблемой.

Литература

1. **Кашников С.В.** Перспективы использования твердых бытовых отходов в качестве альтернативного источника энергии // *Инновации и инвестиции*. — № 5. — 2021. — с. 148–150.
2. **Соломин И.А., Афанасьева В.И.** Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами // *Природообустройство*. — 2017. — Вып. 3, — с. 82–90.

*И.А. Васильченко, Д.С. Глобенко, Е.Е. Ноговицын, студенты;
рук-ли А.А. Валинеева, ст. преп., Е.В. Мотов, асп. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ РДФ ТОПЛИВА

РДФ топливо или Refuse-Derived Fuel — топливо, полученное из отходов, создаётся путём сепарации и осушения твёрдых коммунальных отходов. В РДФ топливе остается по факту часть этих отходов, обладающая наибольшей теплотворной способностью.

Целью проведение эксперимента являлось подтверждение опубликованных данных по теплоте сгорания РДФ топлива с поправкой на Московский регион для написания выпускной квалификационной работы.

Таблица 1. Теплота сгорания РДФ по результатам эксперимента

| № | Масса пробы, г. | Высшая теплота сгорания кДж/кг | Низшая теплота сгорания кДж/кг |
|---------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0,99 | 18391 | 16946 |
| 2 | 1,88 | 18105 | 16660 |
| 3 | 1,67 | 19705 | 18260 |
| 4 | 1,43 | 15098 | 13653 |
| 5 | 2,07 | 14351 | 12906 |
| 6 | 1,91 | 17749 | 16304 |
| среднее | | 17233 | 15788 |

Эксперимент проводился на калориметре ИКА С2000 [1] для определения высшей теплоты сгорания образцов РДФ топлива. По результатам эксперимента были получены данные по высшей теплоте сгорания, представленные в таблице 1, которые соответствуют литературным значениям, и посчитана низшая теплота сгорания [2].

Таблица 2. Элементный состав РДФ топлива

| С | H ₂ | O ₂ | N ₂ | S | Зола | Влажность |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|-----------|
| 44,86 | 5,7 | 30,19 | 1,19 | 0,26 | 7,8 | 10 |

Полученный в работе результат можно сравнить с теплотой сгорания, рассчитанной по формуле Менделеева [3] (по данным таблицы 2) равной 17,5 МДж. Экспериментальные и расчётные данные подтверждают вывод о том, что РДФ топливо является полноценным топливом и его теплотворная способность схожа с бурым углём.

Литература

1. ИКА® Калориметр С 2000 basic руководство пользователя (электронный ресурс) https://chemtest.com.ua/previews/ika_c_2000_russian.pdf
2. М.Ю. Назаренко, С.Н. Салтыкова. Природные энергоносители: методические указания к практическим занятиям // Санкт-Петербургский горный университет // 2020. — с.16.
3. Низшая, высшая и удельная теплота сгорания (электронный ресурс) <https://stopfire.ru/nizshaya-vysshaya-i-udelnaya-teplota-sgoraniya/>

Л.М. Лукьянов, студ.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РЕАКТОРА КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Одно из перспективных направлений энергосбережения в топливных печах, реализующих высокотемпературные процессы — термохимическая рекуперация (ТХР) теплоты газовых отходов на основе конверсии природного газа [1].

Развитие идеи ТХР, включающее ее промышленную реализацию, началось с 1968 года доцентом Перелетовым И.И. в МЭИ. Научной группой И.И. Перелетова разработано направление ТХР на основе паровой конверсии в применении к рекуперативным стекловаренным печам.

Сотрудниками МЭИ совместно с Научно-производственным объединением «Техэнергохимпром» (г. Москва) выполнен комплекс исследовательских и проектно-конструкторских работ, итогом которых стала опытно-промышленная стекловаренная печь с системой ТХР. Успешные испытания печи прошли в г. Гусь-Хрустальный в июне — июле 1978 года. По сравнению с отоплением печи природным газом и подогревом воздуха до 700–750°C система ТХР обеспечила снижение удельного расхода топлива на 25,8%.

Паровая каталитическая конверсия природного газа проводилась в трубчатом радиационном рекуператоре. Поверхность теплообмена состояла из реакционных элементов, выполненных в виде труб Фильда (байонетных или тупиковых труб).

Рост интереса к ТХР как к энергосберегающему мероприятию, а также возможность использования системы ТХР для производства водорода с использованием тепловых отходов промышленных установок делают актуальным разработку и совершенствование методики расчета реакторов конверсии природного газа.

Разработана методика конструктивного расчета реактора-теплообменника для паровой конверсии природного газа, включающая позонный расчет реакционного элемента — трубы Фильда. Исследована зависимость температуры синтез-газа — продукта конверсии — на выходе из реакционного элемента от его конструктивных и режимных параметров.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструктивного ряда реакторов конверсии природного газа.

Литература

1. **Попов С.К.** Термохимическая рекуперация в высокотемпературной теплотехнологии: монография. М.: Издательство МЭИ, 2018.

И.В. Адамов, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТКО ДЛЯ Г. МОСКВЫ

Проблема загрязнения Российской Федерации твердыми коммунальными отходами (ТКО) сейчас актуальна, как никогда. До сих пор большая часть образующихся ТКО отправляется на мусорные полигоны [1]. Однако в г. Москва ситуация постепенно начинает улучшаться, благодаря установке контейнеров для раздельного сбора вторичного сырья (отходов стекла, металлов, бумаги и полимеров) и смешанных отходов.

Поскольку наиболее простым и эффективным способом утилизации отходов, не отправленных на повторное использование, является сжигание, в работе рассматривается установка высокотемпературного обезвреживания ТКО (рисунок 1). Установка состоит из топки с колосниковой решеткой, пароперегревателя, водяного экономайзера, воздушного подогревателя, системы очистки отходящих газов, дымовой трубы. Были произведены расчеты данной установки: тепловой и материальный балансы, расчет нейтрализации токсичных компонентов. Произведен подбор оборудования: дутьевого вентилятора, питательного насоса, дымососа, фильтров (рукавного и угольного).

Производительность такой установки, на примере строящихся в Подмоскovie 4-х мусоросжигательных заводов «Энергия из отходов», которые предположительно будут перерабатывать 2800 тыс. тонн отходов в год, можно принять равной 700 тыс. тонн отходов в год.

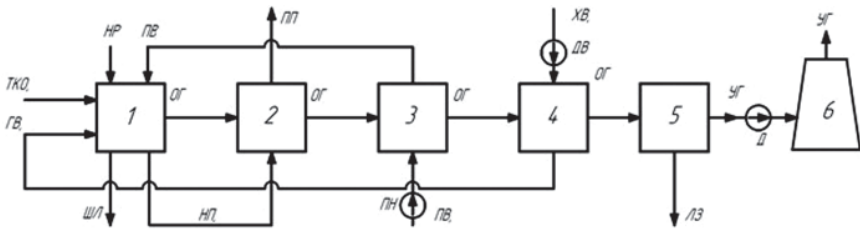


Рис. 1. Схема установки высокотемпературного обезвреживания ТКО.

- 1 — топка с колосниковой решеткой, 2 — пароперегреватель, 3 — водяной экономайзер, 4 — воздушный подогреватель, 5 — система очистки отходящих газов, 6 — дымовая труба;
 ТКО — твердые коммунальные отходы (подготовленные к сжиганию),
 ГВ — горячий воздух, НП — насыщенный пар, ШЛ — шлак, ПВ — питательная вода,
 НР — нейтрализующий реагент, ПП — перегретый пар, ГВ — горячая вода, ХВ — холодный воздух, ОГ — отходящие газы, ЛЗ — летучая зола, УГ — уходящие газы, ДВ — дутьевой вентилятор, ПН — питательный насос, Д — дымосос.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b20_54/Main.htm

А.А. Борисов, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЛАВЛЕНИЕ БАЗАЛЬТА

В настоящее время необходимо создание изделий с максимально длительным сроком эксплуатации, при этом технология должна быть энергоэффективной с обеспечением минимального выброса CO_2 [1]. Востребованность и спрос базальтового волокна в мире постоянно растет. Производство волокна осуществляется непосредственно после плавления базальтовых пород [2].

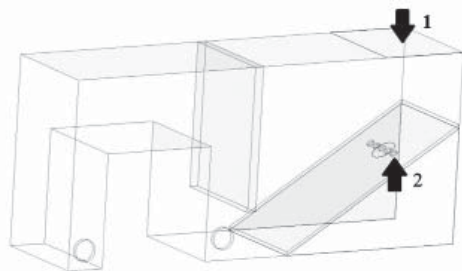


Рис. 1. Физическая модель. 1 — подача воды; 2 — зона барботаж

Целью работы является создание физической модели, реализующей плавление легкоплавкого материала, с теми же принципами действия, что и в плавильной печи.

В качестве такого материала был выбран лед, который с некоторым интервалом времени погружается в воду. Температура воды поддерживается до нужной температуры, благодаря подводящему подогретому воздуху через отверстия определенного диаметра.

В ходе работы были достигнуты следующие цели:

- рассчитаны основные размеры, предполагаемой экспериментальной установки, соотносенной к размерам плавильной печи;
- определены размеры, предполагаемого легкоплавкого материала, соотносенного к размерам базальта;
- проанализированы результаты проделанного эксперимента.

Литература

1. **Кирсанов Ю.Г.** Оценка воздействия выбросов вредных веществ на атмосферный воздух. Екатеринбург, 2018. — 110 с.
2. **Research Group.** Обзор рынка теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна. Москва.: 2017. — 20 с.

Е.В. Мотов, аспирант; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В КОМПАКТНОМ РЕГЕНЕРАТОРЕ

Проблема энергосбережения имеет важное значение для высокотемпературных теплотехнологических установок различных отраслей промышленности. Повышение энергетической эффективности топливных высокотемпературных установок может быть достигнуто путем термической и термохимической рекуперации теплоты отходящих газов посредством теплообменников рекуперативного и регенеративного типа, в частности, компактных регенераторов, а также при использовании дутья, обогащенного кислородом. Выполненные в последние годы исследования теплообмена в плотном фильтруемом слое шаров, тепловой работы компактного регенератора с шаровой насадкой дают основу для дальнейшего совершенствования его математической модели. Это обуславливает актуальность развития работ по моделированию и исследованию теплообмена в компактном регенераторе для условий топливных промышленных печей с высокотемпературными отходящими газами.

Разработана математическая модель компактного регенератора-воздухоподогревателя с шаровой насадкой. Программная реализация модели дает возможность исследовать изменение во времени температур исходящих потоков (воздуха в период охлаждения насадки и уходящих дымовых газов в период нагрева), а также теплосодержания насадки на протяжении заданного количества циклов «нагрев — охлаждение».

Пусть $Q(i)$ — теплосодержание насадки в момент окончания i -го цикла. С увеличением номера цикла i разница между величинами $Q(i-1)$ и $Q(i)$ уменьшается, и тепловое состояние насадки стремится к циклически-стационарному. Мерой приближения к такому состоянию является близость к нулю коэффициента нестационарности $K(i)$ (1):

$$K(i) = 2 \cdot (Q(i) - Q(i-1)) / (Q(i) + Q(i-1)) \quad (1)$$

Разработана и многократно применена методика определения температурных характеристик циклически-стационарного состояния регенератора, основанная на поиске асимптотических значений температуры горячего воздуха и уходящих газов, покидающих компактный регенератор.

Математическая модель компактного регенератора и ее программная реализация обеспечивают возможность широкого исследования тепловой работы регенератора в условиях топливных печей.

А.А. Губа, студ.; рук. Т.А. Степанова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ Г. КОТЕЛЬНИКИ МО

В наши дни человечество в большом количестве добывает природные ископаемые, для того чтобы производить из них различные товары и услуги, с последующим использованием. В результате этого увеличивается образование отходов производства и потребления. Что в свою очередь актуализирует вопрос их вторичной переработки.

Проблема твердых коммунальных отходов (ТКО) относится к первостепенным задачам, так как ее решение связано с обеспечением комфортной жизнедеятельности людей, поддержанием санитарных норм и эстетического облика в городах, охраной окружающей среды и вторичным использованием сырья. Проблема ТКО актуальна для всех городов, но особенно критична для крупных мегаполисов. Для разработки стратегии обращения с коммунальными отходами нужно учитывать ряд взаимосвязанных факторов, так как отходы могут иметь различный состав и обладать множеством свойств.

С учетом особенностей региона, текущего развития механических устройств для отбора отходов и их стоимости представляется наиболее экономически и экологически рациональный вариант утилизации ТКО в России — комплексное решение, комбинирующее предварительную сортировку и термическую переработку ТКО, обеспечивающую применение отходов в качестве источника энергии.

Для г. Котельники (с численностью населения в 46800 человек) Московской области представляется актуальной технологическая схема утилизации твердых коммунальных отходов с предварительным отбором населением пищевых отходов (30% от общей массы ТКО) и хлоросодержащего пластика (1,1% от общей массы ТКО) [1] в местах их образования с последующей термической обработкой оставшегося мусора на мусороперерабатывающих заводах.

В этой технологической схеме будет производиться непрерывная газификация ТКО. И получаемый генераторный газ будет поступать на дальнейшее сжигание в котле для получения необходимого энергетического ресурса. Такая схема использования и утилизации ТКО ранее не рассматривалась для г. Котельники Московской области.

Литература

1. **Шубов Л.Я.** Технология твердых бытовых отходов: учебник / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник; под ред. Л.Я. Шубова. Москва: Альфа-М: ИН-ФА-М, 2011. — 400 с.

П.И. Пысина, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЧЕСКИЙ УЗЕЛ ЗАГРУЗКИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ ВО ВРАЩАЮЩУЮСЯ ПЕЧЬ

Коронавирус — не уникальная ситуация, это очередная возникшая в 2020 году опасность. Каждый год мы наблюдаем рост числа вирусных вспышек. В последние годы в мире развивались различные эпидемии и пандемии: птичий грипп, свиной грипп, вирус Зика, лихорадка Эбола и др.

Вирус Covid-19 является не единственным риском для человечества.

К концу 2021 года, мы убедились, с какой скоростью локализованное эндемическое заболевание может превратиться в глобальную пандемию. Теперь важно понимать, каковы реальные риски, и что можно сделать для их достижения.

В настоящее время способы обращения с опасными отходами различаются, часто в зависимости от плотности населения, инфраструктуры и экономической стабильности региона [1].

Рассмотрена вращающаяся печь для сжигания медицинских отходов, оснащенная автоматическим опрокидывателем мусорных баков и системой загрузки отходов.

Опциональный опрокидыватель бункера позволяет подавать отходы, непосредственно, в сам бункер, не требуя контакта с людьми, что снижает риски загрязнения и травм от острых предметов и других потенциальных опасностей [1]. Подъем опрокидывателя происходит одновременно с открытием крышки бункера при помощи винтовых механизмов. После того, как крышка закроется, и рабочая камера печи разогреется до температуры 1000 °С, подается сигнал на открытие дверцы (шибера), которая поднимается при помощи установленного привода. Затем включается привод толкателя и, соответственно, при помощи цепной передачи пластина толкателя перемещает отходы в инсинератор.

Технический результат, достигаемый таким узлом загрузки, заключается в повышении надежности работы, улучшении ремонтпригодности за счет использования цепных передач, упрощении конструкции и в снижении физической нагрузки оператора.

Литература

1. **The Future of Medical Waste Treatment.** [Электронный ресурс]. URL: <https://addfield.com/future-medical-waste-treatment/>

Л.В. Корнилова, студ.; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ АГРЕГАТА ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Цель уйти от доменной печи как агрегата получения чугуна и разработать энергоэффективный, компактный, простой в использовании и обслуживании агрегат внедоменного производства чугуна и стали обозначилась перед всем научным сообществом десятилетия назад. Топливо, применимое в доменной печи (он же коксующийся уголь) является основной причиной острой необходимости производств в принципиально новом устройстве получения металла, в связи с дороговизной угля и обилием вредных выбросов производства в окружающую среду [1].

Кафедрой ИТНО (ранее ЭВТ) в настоящее время разрабатывается установка [2] непрерывного получения стали (рис. 1) с применением сажеводородной смеси — энергоэффективного органического ($75\%C + 25\%H_2$) топлива [3], минимально сказывающегося на состоянии окружающей среды.

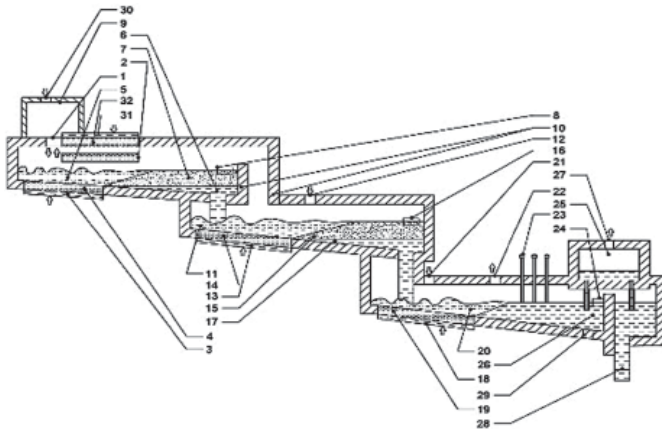


Рис. 1. Чертеж разрабатываемого агрегата

В данной работе были уточнены характерные размеры зоны перфорации, смоделированы тепловые поля в пределах перфорации, построена 3d модель зоны перфорации.

Литература

1. **В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев.** Общая металлургия. Учебник для вузов. — 5-е изд, перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1998. — 768 с.
2. **К.В. Строгонов, Л.В. Корнилова.** «Агрегат непрерывного получения стали», RU2020144107A.
3. **Нешпоренко Е.Г., Картавец С.В.** Вопросы энергоресурсосбережения при извлечении железа из руд: Монография. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. — 153 с.

И.И. Феоктистов, студ.; рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ УЛАВЛИВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ CO_2 ПРИМЕНИМЫХ К ПРОЦЕССУ ГАЗИФИКАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО ТОПЛИВА

Развитие современной энергетики основано на поиске альтернативного экологичного источника топлива. Таким топливом может стать водород [1].

В настоящее время водородная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений. Водород имеет массу достоинств: он более энергоемок и его использование не создает вредных выбросов, что положительно сказывается на экологии. В тоже время конденсированное топливо в виде угля, твердых-коммунальных отходов, топлива RDF и др. является перспективным энергоносителем по причине своей распространенности. Однако перспективы получения водорода из конденсированного топлива зависят от способности его получение в промышленных масштабах без выбросов CO_2 в атмосферу [2].

В работе исследуются способы улавливания, использования и хранения углерода (CCUS). CCUS включает в себя улавливание CO_2 из крупных точечных источников, включая промышленные предприятия, которые используют ископаемое топливо в качестве топлива. CO_2 также может улавливаться прямо из атмосферы. Если уловленный CO_2 не используется на месте, он сжимается и транспортируется для использования в различных областях или закачивается в глубокие геологические образования, для постоянного хранения CO_2 [3].

В работе проводятся расчеты на основании модели установки в системе Aspen Plus для определения материальных и тепловых потоков с учетом ранее определенных параметров процесса газификации угольного топлива [4].

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. Hydrogen production from natural gas and biomethane with carbon capture and storage — A techno-environmental analysis. Sustainable Energy Fuels, 2020, 4, 2967–2986.
4. **И.И. Феоктистов** Исследование газификации конденсированного топлива для получения водородсодержащего синтез-газа / И.И. Феоктистов, С.Н. Петин // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Сб. 27-й Международной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г.). Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга» — 2021. — С. 652.

*А.А. Борисов, Л.И. Солдаткин, студенты;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ МЕТАНА И ВОДОРОДА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ANSYS С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЕЕ ПРОВЕРКОЙ НА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

Важным обстоятельством, определяющим неизбежность перехода к массовому использованию новых энергетических технологий, является качественное изменение экологических требований в энергетической сфере. В дальнейшей перспективе на смену природному газу должно прийти водородное топливо. Водород — это экологически чистое топливо, которое по теплоте сгорания единицы массы в 2.75 раза превосходит бензин, имеет более широкие интервалы воспламенения в смеси с воздухом (от 4 до 75 объемных%) [1].

Целью данной работы является моделирование процессов горения природного газа и водорода в газовой горелке в программном пакете ANSYS.

Для моделирования процесса горения выбран программный пакет ANSYS FLUENT. Это шаг постановки задачи, на котором определяются физические модели, на основе которых происходит симуляция процесса, а также их основные параметры и характеристики. Он позволяет определить начальные и граничные условия процесса (входные, выходные) параметры. Задание граничных условий (ограничений) — необходимый этап конечно элементного анализа. Число граничных условий для модели должно быть достаточным для расчета распределений всех известных величин.

Для верификации результатов моделирования в программном пакете ANSYS проводятся экспериментальные исследования на учебно-лабораторном стенде «Туннельная газовая печь» [2].

Процессы горения топлива являются мощным источником антропогенного воздействия на окружающую среду, поэтому работа направлена на получение результатов и разработку рекомендаций с использованием компьютерного моделирования и минимальным проведением натуральных экспериментов.

Литература

1. **Асютин О., Александр Г.** Концепция крупномасштабного развития инновационных систем производства и распределения метано-водородного топлива как эффективного альтернативного энергоносителя. Москва г., 2012. — 13 с.
2. **Волков В.И., Петин С.Н., Бурмакина А.В.** Экспериментальное исследование процессов образования оксидов азота и огневого обезвреживания сточных вод. Москва.: 2019. — 44 с.

*Д.В. Григорьев, Л.В. Корнилова студ.:
рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ШИХТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТА

Объемы производства базальтового волокна на российских предприятиях растут с каждым годом, актуальным становится вопрос оптимизации процесса, с целью экономии ресурсов [1]. Базальт добывается в карьерах, после чего транспортируется на предприятие, где он дробится до необходимой фракции, промывается и отправляется в печь для плавления. В рассмотренной цепочке Самым энергозатратным, а, следовательно, и самым актуальным для оптимизации является процесс плавления базальта. В традиционных ваннных печах теплопередача к шихте осуществляется непосредственно излучением от факела горящего газа. Затраты энергии в таких печах могут достигать 20900 кДж на 1 кг расплава, при максимальном КПД 35%.

Метод повышения энергоэффективности плавления шихты заключается во вторичном использовании дымовых газов, образующихся в бассейне печи в результате горения топлива. Предлагается разработка установки, которая будет осуществлять подачу шихты с одновременным её нагревом по принципу нагрева в плотном фильтруемом слое с организацией её противоточной схемы движения нагреваемого материала и уходящих дымовых газов. Установка будет представлять собой теплоизолированную шахту с перфорированным подом, выполненным в виде шнека (Рис. 1). Уходящие газы проходя через перфорацию и подаваемую шихту осуществляют её предварительный нагрев перед плавлением. Как результат — повышение энергоэффективности печи и снижение затрачиваемого на плавление базальта топлива.

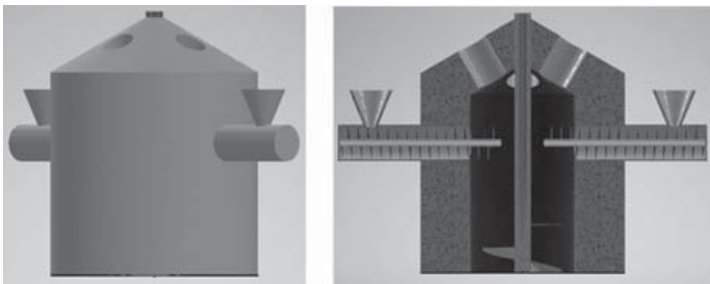


Рис. 1. Схема установки

Литература

1. **Джигирис Д.Д.** «Основы производств базальтовых волокон и изделий»: учебник для вузов — М: Теплоэнергетик, 2002 г.

В.М. Савчин, аспирант; рук. К.В. Строгонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА В ЖИДКОМ РАСПЛАВЕ МЕТАЛЛА

Водород привлекает все большее внимание, а водородная энергетика становится важным компонентом энергетического комплекса как в локальных, так и региональных масштабах.

В Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, водородная энергетика обозначена в качестве одного из перспективных направлений развития энергетики.

Также в условиях набирающего силу тренда на декарбонизацию мировой экономики возможность «энергетического» применения водорода связана с отсутствием прямых выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и диоксида углерода. Водород может являться новым энергоносителем для решения климатических задач, получения, накопления, хранения и доставки энергии.

В работе рассматривается производство водорода пиролизом углеводородов в жидком расплаве металла. Пиролиз метана — это умеренно эндотермический процесс разложения природного газа. При пиролизе метана образуется водород, который может быть использован в энергетике, транспортном секторе, в промышленных или химических процессах и т.д. Получения водорода происходит за счет продувания природного газа через жидкий теплоноситель.

Рассмотрены преимущества и недостатки данной технологии по сравнению с другими, опыт и перспективы использования в России и за рубежом, выполнен анализ жидкометаллического теплоносителя, изучены экологические аспекты производства водорода. Ведутся лабораторные исследования.

Планируется смоделировать процесс, выполнить расчеты балансов и основных элементов установки.

Основные преимущества данного метода, выделяющие его среди остальных:

- Отсутствие «прямых» выбросов CO_2
- Относительно низкие затраты энергии на процессы производства водорода

Литература

1. **Geisler T., Plevan M., Abanades A.** Experimental investigation and thermo-chemical modeling of methane pyrolysis in a liquid meta bubble column reactor with a packed bed. International Journal of Hydrogen Energy, 2015.
2. **Geisler T., Abanades A., Heinzl A.** Hydrogen production via methane pyrolysis in a liquid metal bubble column reactor with a packed bed. Chemical Engineering Journal, 2016.

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

А.А. Кобзева, асп.; рук. В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕБРА

Для интенсификации теплообмена применяют интенсификаторы разной формы и схемы расположения их на поверхности теплообмена. Известны критерии, позволяющие определить эффективность каждого интенсификатора. Так, эффективность ребра (КПД) определяется по величине отношения тепловых потоков, исходящих от реального и идеального ребра при одинаковых внешних условиях. В этом случае расчетная формула для прямоугольного ребра с теплоизолированным торцом (ПРТТ) принимает вид $\eta = \text{th}(\sqrt{\text{Bi}}) / \sqrt{\text{Bi}}$, в котором коэффициент теплоотдачи (КТО), входящий в число Био, должен быть известен. Если это не так, то его нужно определять по формуле М.А. Михеева для случая внешнего обтекания плоской поверхности. К сожалению, формула не учитывает влияние температуры идеального ребра на ТФС теплоносителя и на КТО. Расчет по такой формуле может привести к погрешности.

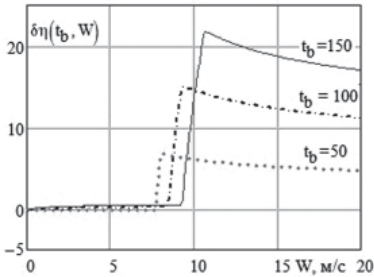


Рис. 1. Погрешность определения КПД ребра

Для оценки величины ошибки и разрешения возникшей проблемы была поставлена и решена **задача**: при заданной массе ПРТТ и температуре его основания определить КПД ребра с учетом влияния его температуры на ТФС теплоносителя. Ребро: материал — сталь, минимально допустимая толщина $\delta_{\min}=0,0002$ м, длина $L=1$ м, масса $m=0,1$ кг, температура основания $t_b=50,100,150^\circ\text{C}$. Теплоноситель: сухой воздух с температурой $t_a=10^\circ\text{C}$ и скоростью $W \leq 20$ м/с.

Результаты (рис. 1) показали:

- Чем выше t_b и больше W , тем значительней максимальная погрешность расчета КПД ребра.
- Увеличение W приводит к снижению высоты ребра, которой соответствует максимальный тепловой поток. Следовательно, существует определенная пара чисел, соответствующих высоте ребра и скорости теплоносителя, при которых тепловой поток достигает максимума.
- Для каждой высоты рассматриваемого ребра существует предельная W , превышение которой экономически не целесообразно, т.к. затраты энергии на её увеличение не повышают тепловой поток от ребра.

В заключении отметим, что традиционная формула расчета КПД ребра обладает ограниченной областью применения, параметры которой нужно знать при расчете и проектировании теплообменных установок.

*А.О. Липнин, И.И. Самоделкин, Е.Е. Слепцова, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОДДЕРЖАНИЕ НОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ЦЕХЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НИТРИЛОВЫХ ПЕРЧАТОК

В настоящее время, вследствие неблагоприятной эпидемиологической ситуации актуально увеличение объема производства одноразовых медицинских перчаток. Производство нитриловых перчаток включает в себя этапы, пагубно влияющие на окружающую среду и людей, работающих в цехе. На конечном этапе изготовления, перчатки проходят обработку газообразным хлором или раствором гипохлорита и соляной кислоты. Как следствие, работники цехов должны быть защищены от вредных испарений и концентраций в воздухе.

Грамотно спроектированная система вентиляции и кондиционирования отвечает за нормируемые параметры микроклимата внутри помещения. Не допускается эксплуатация оборудования, работа которых сопровождается выделением вредных веществ, с неисправной системой вентиляции [1].

Рассматриваемое помещение имеет площадь 3075 м². Температура внутреннего воздуха 20°С. Для поддержания нормативных параметров требуется подать 310 тыс м³/ч свежего воздуха. В цехе создан дисбаланс по притоку, подается воздух для горения газа в горелках сушильных печей. От ванн с кислотой и щелочью выполнена местная вытяжка.

Таблица 1. Расчетные значения приточного и вытяжного воздуха

| Помещение | $L_{\text{пр}}$, тыс м ³ /ч | $L_{\text{выт}}$, тыс м ³ /ч | $L_{\text{гор}}$, тыс м ³ /ч | $L_{\text{мест}}$, тыс м ³ /ч |
|-----------|---|--|--|---|
| Цех | 310 | 215 | 11 | 84 |

$L_{\text{пр}}$ — расход приточного воздуха; $L_{\text{выт}}$ — расход вытяжного воздуха; $L_{\text{гор}}$ — расход воздуха на горение; $L_{\text{мест}}$ — расход воздуха на местные отсосы.

Воздухообмен в помещении определен из условия ассимиляции тепло — и влаговывделений, а также по массе выделяющихся вредных веществ. Принят 3х кратный воздухообмен согласно санитарным нормам, исходя из максимального расчетного значения. Применение рециркуляции сокращает расходы теплоты на 30%. По результатам исследования предложено энергоэффективное вентиляционное оборудование.

Литература

1. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности: «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» от 7 дек. 2020 г. № 500.

Т.С. Березина, асп.; С.С. Городничина, А.Д. Шибанова, А.Н. Сабанова, студ.; рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ХРАНЕНИИ РИСА-ЗЕРНА В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ СИЛОСЕ

Одной из основных задач сельского хозяйства в России является производство зерна. Так как объем собранного зерна в стране с каждым годом возрастает, а материально-техническая база зернохранилищ изнашивается, требуется производство новых конструкций, введение в эксплуатацию которых возможно за относительно короткие сроки. В связи с этим наиболее востребованными стали зернохранилища силосного типа. При этом поддержание определенного температурно-влажностного режима в металлическом силосе за счет внедрения технологической операции вентилирования оказывает большое влияние на сохранность продовольственных свойств хранимой в нем зерновой культуры [1, 2]. Для оценки влияния параметров процесса вентилирования на физические свойства зерновых культур был спланирован эксперимент, по итогам которого были получены данные по параметрам воздуха в силосе и хранимого в нем зерна.

Полученные графические зависимости позволили изучить влияние некоторых внешних факторов на изменение физических свойств риса-зерна, а также найти эмпирические зависимости (1, 2), отражающие взаимосвязь между исследуемыми параметрами.

$$t_p = 0,171 \cdot t^6 - 0,017 \cdot t^5 - 0,651 \cdot t^4 - 0,007 \cdot t^3 + 0,489 \cdot t^2 - 0,043 \cdot t + 4,796 \quad (1)$$

$$t_p = 0,0002 \cdot \varphi^4 - 0,078 \cdot \varphi^3 + 9,512 \cdot \varphi^2 - 516,12 \cdot \varphi + 10482 \quad (2)$$

где t_p , t — температуры риса-зерна и вентилируемого воздуха в нижней части силоса, φ — относительная влажность вентилируемого воздуха.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования режимов хранения зерновых культур в металлических силосах, благодаря чему снизятся производственные издержки и повысится качество продукции.

Литература

1. **Мельник Б.Е.** Активное вентилирование зерна: Справочник / Б.Е. Мельник. — М.: Агропромиздат, 1986. — 159 с.
2. **Хужакулов А.П., Султанова Ш.А., Сафаров Ж.Э.** Способ сушки семян риса // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2020. № 8 (77).

*Р.О. Алексеев; К.О. Плешков; Н.В. Старостин, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Создание систем мониторинга тепловых сетей (ТС) позволит кардинально повысить обоснованность и эффективность принимаемых решений при функционировании систем центрального теплоснабжения (ЦТ) и их развитии. Такая работа необходима также для снижения рисков возникновения аварийных ситуаций и интеллектуализации процессов управления ТС и ЦТ в целом. Знание полной картины режимов позволит контролировать их допустимость, возникновение нарушений в условиях работы оборудования, степень обеспеченности потребителей. Мониторинг параметров внешней среды позволит кардинально повысить эффективность функционирования, наладки и реконструкции ТС; упростит контроль нарушений в условиях работы оборудования. Электронная модель системы теплоснабжения содержит обширное количество данных обо всех элементах тепловой сети и выполняет основные функции: информационную, вычислительную, аналитическую.

Для калибровки системы теплоснабжения населенного пункта создана электронная модель 25 кварталов в геоинформационной системе Zulu, включающая источники тепловой энергии (ЦТП), структуру тепловых сетей и подключенных потребителей. Температурный график рассмотренной ТС 95/70°C, расчетная температура наружного воздуха составляет -31°C. На основании исходных параметров выполнен поверочный расчет. Электронная модель позволяет проводить расчеты на основе заданной информации в условиях функционирования ТС. По полученным количественным характеристикам можно выявлять причины неудовлетворительной работы ТС при решении задач наладки, развития, реконструкции и т.д. Полученные результаты используются для калибровки системы с целью получения оптимальных данных рассматриваемой системы теплоснабжения.

Литература

1. **Зингер Н.М.** Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. Москва: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 335 с.
2. **Покорный С.Г.** «Машина времени» www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3527

Д.А. Косенок, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫБРОСОВ МЕТАНА НА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ АЙШЛЕБЕНА

Айшлебен — небольшой населенный пункт в центральной Германии, в котором располагается газораспределительная станция, служащая для транспортировки газа из России в западную Германию. Газ поставляется по газопроводам из Ямальского месторождения.

Сальник компрессора рис.1 служит для минимизации утечек природного газа в атмосферу, но несмотря на имеющиеся технологические решения избежать полного отсутствия утечек не удаётся [1]. Целью работы является разработка методов использования или снижения выбросов природного газа через сальник. Ведущий инженер газораспределительной станции отмечает, что утечки природного газа составляют около 25–35 м³/ч от одного компрессора. Всего их три. Все утечки либо сжигаются с большими выбросами диоксида углерода в атмосферу, а получившаяся теплота используется для отопления здания в холодное время года, либо выбрасываются в атмосферу. Необходимо определить наилучшее решение для использования утечек с расчетом на то, чтобы минимизировать выбросы CO₂ в атмосферу [2].

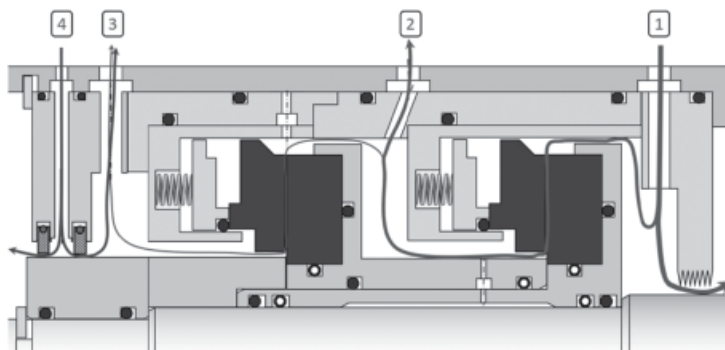


Рис. 1. Схема сальника компрессора. 1 — Поддача уплотнительного газа, 2 — первичный отбор газа, 3 — вторичный отбор газа, 4 — подача газа из хранилища

Литература

1. **International Energy Agency.** The Oil and Gas Industry in Energy Transitions // IEA Publications, 2020, 165 p.
2. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Assessment Report 5 // Cambridge University Press, 2013, 1552 p.

*А.Р. Аляутдинов, асп.; М.О. Морозов, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Замораживание, хранение в замороженном состоянии и сублимационное обезвоживание — это наиболее совершенные способы длительного сохранения требуемых качеств термочувствительных продуктов и материалов. Изучение процесса сублимационной сушки при атмосферном давлении (АтСС) проводится на лабораторном стенде, созданном в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» на кафедре ТМПУ. Но основным недостатком этого стенда — недостаточно высокая энергоэффективность [1].

В ходе выполненного исследования проведено сравнение технико-экономических параметров существующего лабораторного стенда и модернизированного. Для этого произведен расчет потребления электрической энергии.

При изучении холодильной машины, с помощью которой поддерживается отрицательная температура в низкотемпературной камере, было замечено, что вся теплота, отводимая от конденсатора холодильной машины, выбрасывается в окружающую среду как отработанный продукт. Таким образом, решено использовать эту теплоту как полезную. Часть теплоты конденсации, примерно 10%, снимается теплообменником сбива перегрева и направляется в низкотемпературную камеру для нагрева воздуха перед сублимационным бункером. Теплота сбива перегрева, забираемая с теплообменного аппарата сбива перегрева для нагрева воздуха внутри низкотемпературной камеры определяется по расчетному соотношению (1):

$$Q_{\text{сбива}} = G_{\text{ха}} \cdot (h_{2\text{д}} - h_{2'})$$

Установленная мощность существующего стенда АтСС 1509 Вт, а модернизированного стенда АтСС 927 Вт. По данным показателям видно, что установленная мощность сократилась примерно на 40%. При сравнении суммарного удельного расхода существующего стенда (2,613 кВт·ч/кг) и модернизированного стенда (2,318 кВт·ч/кг) видно, что удельный расход электрической энергии в модернизированном стенде сократился на 11%.

Литература

1. **Коновалов В.И., Романова Е.В., Гагапова Н.Ц.** Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника // Вестник ТГТУ. 2011. Т. 17. № 1.

Т.С. Вайсс, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СТРУЙ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

В работе методом численного моделирования в программной среде OpenFOAM исследовалось влияние температуры на распространение струй двух жидких углеводородов — изооктана и этанола. Достоинством программной среды является наличие специального решателя sprayFoam для турбулентных струй, предназначенного для описания двухфазной среды, а также свободное распространение программного кода. Межфазное взаимодействие учитывается посредством введения в уравнения сохранения для паровоздушной фазы дополнительных источников членов, отражающих вклад жидкой фазы. Также учитывалось распределение капель по размерам, их испарение и распад. Использовалась $k-\epsilon$ модель турбулентности. Расчеты показали, что при повышении температуры дальность струй уменьшается, а количество паровой фазы увеличивается. Результаты численного моделирования качественно совпадают с результатами, полученными в ходе эксперимента подробно описанными в работе [1] (см. рисунок 1).

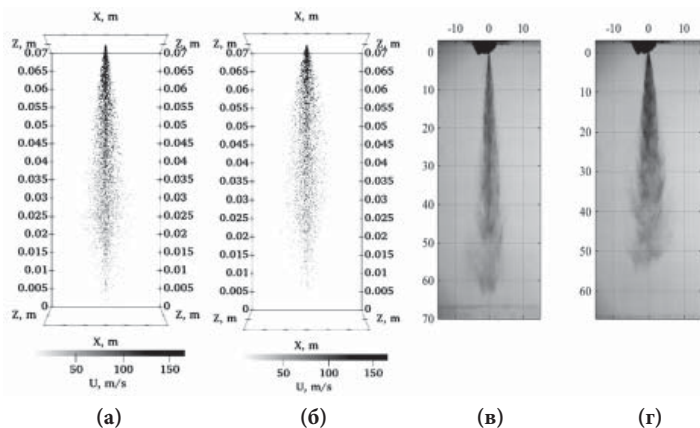


Рис. 1. Сравнение результатов численного моделирования а), б) и эксперимента в), г) для струй этанола при температуре а) 25°C, б) 98°C, в) 25°C и г) 98°C.

Литература

1. Вайсс Т.С., Гаряев А.Б., Вайсс Л. Экспериментальное исследование влияния температуры на распространение жидких струй углеводородов. Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 9. с. 388–400.

*А.Д. Лобов, Д.Д. Калинин, студ.,
В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

О РАСЧЕТАХ ТЕПЛООБМЕННИКА, ОСНОВАННЫХ НА ЗАМЕНЕ ФОРМЫ И ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВЫХ РЕБЕР

Существующая методика расчета трубчатых теплообменников предполагает знание геометрических характеристик оребренных труб. Форма и размер ребер, а также схема расположения труб и направление движения теплоносителей являются исходными данными и поэтому определяют форму и размеры проходного сечения и, следовательно, гидравлический диаметр, входящий в числа Рейнольдса и Нуссельта. Задание температуры и расхода теплоносителей в сочетании с эмпирическими формулами, в которые входят эти числа подобия, позволяет определить коэффициенты теплоотдачи и тепловую мощность теплообменного аппарата. Ясно, что эти характеристики будут соответствовать исходным параметрам оребренных труб, но не обязательно оптимальным их значениям, с точки зрения максимальной теплоотдачи. Чтобы добиться максимального теплового потока от ребер необходимо в числах Re и Nu , входящие в эмпирические формулы для коэффициента теплоотдачи, внести гидравлический диаметр, рассчитанный с учетом оптимальных размеров кольцевых ребер. В этом и будет заключаться отличие, представленных ниже 2-х вариантов расчета, отличающихся методом выбора параметров кольцевых ребер. Первый вариант основан на замене реальных ребер трапециевидной формы на виртуальные кольцевые ребра прямоугольной формы, толщина которых равна средней линии трапеции, представляющей профиль заменяемых ребер [1]. При этом предполагается сохранение шага ребер, их внешнего и внутреннего диаметров. Во втором варианте — исходные трапециевидные кольцевые ребра заменяются оптимальными прямоугольными кольцевыми ребрами, обеспечивающие максимальную теплоотдачу по величине отводимого теплового потока. Шаг и масса оптимальных ребер второго варианта соответствует шагу и массе заменяемых ребер.

В ходе расчета было установлено, что масса реального трапециевидного кольцевого ребра меньше на 4,7% массы виртуального прямоугольного кольцевого ребра, введенного в первый вариант расчета, а тепловой поток — на 0,5%. Такой результат расчета можно считать неплохим. Однако полученная при этом величина теплового потока не оказалась максимально возможной. Причина в том, что параметры виртуального ребра, соответствующие 1-му варианту расчета, не являются оптимальными, при которых тепловой поток, отводимый ребром, будет максимальным. Такой вывод следует из результата второго варианта расчета.

Литература

1. Юдин В.Ф. Теплообмен поперечнооребранных труб. — Л.: Машиностроение. 1982. — 189 с.

*О.Д. Матухнова, аспирант, Д.А. Ефимов, студент;
рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ ГАБАРИТОВ ТЕРМОКОМПРЕССИОННОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

Пресная вода является одним из важнейших источников жизнедеятельности людей. Она выступает сырьём для различных отраслей промышленности, энергетики, муниципального водоснабжения и сельского хозяйства. В мире наблюдается нарастающий дефицит пресной воды. За последние 40 лет количество пресной воды на каждого человека в мире сократилось на 60% [1].

Большинство процессов опреснения воды можно разделить на два типа: термические процессы с изменением фазы и мембранные процессы. Наиболее распространёнными являются следующие типы опреснения, имеющие разный принцип действия и разное потребление энергии: дистилляция мгновенным вскипанием (MSF), многоступенчатая дистилляция (MED), обратный осмос (RO), электродиализ (ED), а также пароконпресссионная дистилляция (VCD), которая делится на тепловую (TVC) и механическую (MVC).

Совершенствование процесса опреснения и снижение затрат на выработку воды прежде всего направлено на уменьшение расходов энергии. Одним из способов повышения эффективности энергетического производства является развитие локальных автономных источников комбинированного производства электрической энергии и пресной воды.

Проведен выбор и анализ критериев для определения оптимальной комбинированной установки: количество полученной электроэнергии и пресной воды на единицу затраченного топлива и площадь, занимаемая установкой. Согласно данным критериям одной из наиболее эффективных установок является тепловая пароконпресссионная дистилляция (TVC).

В работе был рассмотрен населенный пункт с численностью 5000 человек и потреблением пресной воды 950 м³/сут. По результатам расчетов получено, что для обеспечения населения пресной водой необходимо установить 16 термокомпресссионных выпарных установок с площадью поверхности теплообмена 11 м² каждая, способные вырабатывать суммарно 11,2 кг/с пресной воды.

Литература

1. **Кирпичникова И.М.** Экспериментальные исследования лабораторного опреснителя / И.М. Кирпичникова, И.Р. Рахматулин // Альтернативная энергетика и экология. — № 1, 2013. С. 40–43.

*В.Д. Митяев, студ., А.А. Кобзева, асп.;
рук. Ч.А. Кадыров, В.С. Глазов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

О ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ ЗДАНИЙ, ОСТРОВЕ ТЕПЛА И ПОТЕПЛЕНИИ

Большее количество зданий, функционирующих в настоящее время, построено по нормам прошлого века. Их теплозащитная оболочка определялась санитарными нормами, параметрами наружного климата и существующими материалами. Появление новых норм, опирающихся на условия энергосбережения, привело к необходимости повышения сопротивления теплопередаче ($\sum \delta_i / \lambda_i$) наружных ограждений зданий. На практике это выразилось в замене старых окон новыми, обладающими высокой герметичностью и термическим сопротивлением, а также в наращивании толщины наружных стен теплоизоляционными материалами.

Очевидно, что параметры наружного климата, теплозащитная оболочка здания и система, обеспечивающая нормальное функционирование людей и технологий, взаимосвязаны. Изменение одного фактора влияет на уровень минимального энергопотребления. Процесс, связанный с локальным (в рамках мегаполиса), сезонным, континентальным или глобальным потеплением меняет требование к теплозащитной оболочке здания и к системе поддержания в нем комфортных условий. Анализ нормативных документов [1] за последние 10 лет показал, что для Москвы процесс потепления в основном связан с повышением температуры наружного воздуха в зимний период ($\approx 2^\circ\text{C}$). Если принять во внимание эффект «острова тепла», который формируется в мегаполисах и проявляется в виде разности температур между тепловыми центрами и окраинами ($5\text{--}10^\circ\text{C}$), то возникает потребность в корректировке расчетной температуры воздуха, которая влияет на $\sum \delta_i / \lambda_i$ и на стоимость энергосберегающих мероприятий.

Согласно нашим расчетам, величину теплозащитной оболочки зданий, расположенных в районе озера Иссык-Куль (г. Чолпон-Ата), можно уменьшить на $\approx 40\%$ по сравнению с величиной, рассчитанной по действующим нормативным документам, не изменяя величину удельных тепловых потерь (q). Связь между актуализированным и рекомендуемым сопротивлением теплопередачи ($\sum \delta_i / \lambda_i$), при которых удельные тепловые потери одинаковы, описывается следующим выражением (1):

$$q = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{акт}}}{1/\alpha_{\text{в}} + (\sum \delta_i / \lambda_i)_{\text{акт}} + 1/\alpha_{\text{н}}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{рек}}}{1/\alpha_{\text{в}} + (\sum \delta_i / \lambda_i)_{\text{рек}} + 1/\alpha_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{в}}$ — теплоотдача с наружной и внутренней стороны здания; $t_{\text{в}}$ — температура внутри здания; $t_{\text{н}}^{\text{акт}}$ и $t_{\text{н}}^{\text{рек}}$ — наружная температура по актуализированному и рекомендуемым данным.

Литература

1. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» редакция от 24.12.2020

*И.А. Максимов, Е.П. Гончарова, Е.А. Таранец, студенты;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПЛАСТИНЧАТО-ТРУБЧАТЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С ЛУНОЧНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕНА

Низкая теплоотдача со стороны газовых потоков является основной причиной высокой металлоёмкости газовых и газожидкостных теплообменных аппаратов, в которых для увеличения площади теплообмена применяется пластинчатое оребрение теплообменных труб по газовому тракту.

Сократить требуемую площадь теплообмена и, следовательно, металлоёмкость теплообменного оборудования можно за счет интенсификации теплообмена путём модификации поверхностей теплосъёма. Так, за счет установки сферических лунок в канале пластинчато-трубчатого теплообменника (рисунок 1) можно повысить теплоотдачу по газовому тракту и сократить конечные габариты аппарата [1].

По результатам численного моделирования выявлено, что установка сферических лунок в оребряющих пластинах соосно с трубками приводит к турбулизации потока и увеличению удельных тепловых потоков, снимаемых с поверхностей теплообмена: число Нуссельта в канале теплообменного аппарата с луночными интенсификаторами в диапазоне чисел Рейнольдса от 8000 до 70000 выше в среднем на 6,7–13,0%, чем в канале без лунок.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка научно-технических решений для повышения эффективности и маневренности кислородно-топливных энергетических комплексов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика» в 2020–2022 гг.

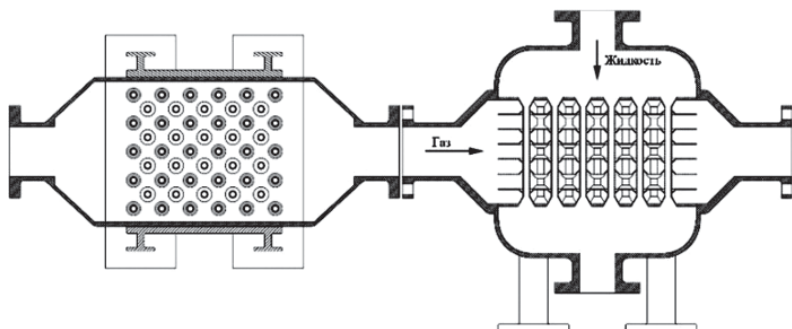


Рис. 1. Пластинчато-трубчатый теплообменник с луночной интенсификацией теплообмена

Литература

1. Патент № 2758119 Российская Федерация, МПК F28D 1/02 (2006.01), F28D 9/00 (2006.01). Пластинчато-трубчатый теплообменник: № 2021105758: заявл. 05.03.2021: опубл. 26.10.2021 / Шевченко И.В., Киндра В.О., Осипов С.К., Вегера А.Н., Наумов В.Ю.; заявитель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». — 10 с.: ил. — Текст : непосредственный.

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.В. Кондрашов, асп; А.А. Тринченко, к.т.н., доц.
(СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург)*

ВНЕДРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ С ЕДИНЫМ КОНТУРОМ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

В работе выполнены разработка, внедрение и исследование эксплуатационных показателей усовершенствованной системы частичной утилизации теплоты конденсации холодильных машин, увеличивающей долю использования бросового тепла в системе воздушного отопления с целью повышения их энергетической эффективности [1, 2] и оптимизации эксплуатационных затрат [3]. Для проведения анализа расчетных и фактических значений, выполнены разработка и внедрение исследовательского стенда, данные от которого непрерывно записываются и сохраняются на персональном компьютере. На основе анализа фиксируемых данных получена зависимость температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха на выходе из системы [4], а так же выявлены параметры, которые необходимо поддерживать для достижения поставленных в работе задач. Показано, что после модернизации системы, использование бросового тепла позволяет снизить эксплуатационные затраты на 2,4 млн. руб. в год и сократить тепловое загрязнение окружающей среды не менее чем на 1372140 кВт в год, что благоприятно влияет на экологическую обстановку в целом [5]. Исследование выполняется в рамках договора с РФФИ № 20-38-90119\20 от 03.09.2020 г.

Литература

1. **Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. и др.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Симбирев О.В.** Перспективы модернизации систем отопления и вентиляции зданий // *Colloquium-journal*. 2019. № 13–2(37).
3. **Полякова В.Ю., Калинина Т.О., Кичин К.В.** Анализ энергоэффективности тепловых насосов в системах теплоснабжения по территориально-климатическому признаку // *Молодой ученый*. — 2016. — № 27. — С. 142–146.
4. **Aleksey Kondrashov, Mikle Egorov.** Comparative efficiency of applying heat pumps within the system of disposal of the condensation heat of heat machines for heating ice arenas // *E3S Web of Conferences*. Volume 140, Article number 05011 (2019) (doi: 10.1051/e3sconf/201914005011).
5. **Kondrashov A.V.; Trinchenco A.A.** Reducing of the Environment Thermal Pollution by Introducing Energy Efficient Technologies in Engineering Systems // *FarEastCon, 2020* (doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271312).

Н.Э. Тукбаев, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ГРУНТА БЕЗ ПРОМЕРЗАНИЯ

Аккумуляция тепловой энергии в грунте в целях энергосбережения является актуальной темой в настоящее время [1]. Однако существующие исследования ограничены частными случаями. Для проведения детального исследования следует составить и верифицировать корректную математическую модель теплообмена грунта с воздухом.

Теплообмен в грунте описывается уравнением теплопередачи вида

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

где T — температура, К; t — время, с; c_p — теплоемкость грунта, Дж/(кгК); x — координата, направленная перпендикулярно поверхности грунта, м; ρ — плотность грунта, кг/м³; λ — теплопроводность грунта, Вт/(м·К).

При значениях коэффициента теплоотдачи между воздухом и грунтом $\alpha \approx 23$ Вт/м²К, глубине аккумулятора $l \approx 20$ м и теплопроводности грунта $\lambda \approx 1$ Вт/мК число Био $Bi = \alpha l / \lambda = 460 > 100$, то на поверхности грунта справедливо ставить граничное условие первого рода, а на удалении ставится адиабатическое граничное условие. Для удобства решения система уравнений переводится в безразмерный вид.

Разработана программа на языке C++ для решения полученной системы аппроксимирующих линейных уравнений. Решение проводится редуцированным методом Гаусса. Применена сетка с равномерными шагами размером 512×1024 по координатам $X \times t$. Для расчетов применялись числа одинарной точности. Расчет одного режима на центральном процессоре Intel I5-3570k составляет менее 30 секунд.

Результаты работы программы сопоставляются с результатами экспериментального исследования [2] с применением принципа суперпозиции и разложения температуры в ряд Фурье.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, грант № МК-1456.2022.4.

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 // Труды X межд. шк.-сем. ЭТиП. Москва, 19–23 октября 2020 г. с. 82–87.
2. Пурдин М.С., Косенок Д.А. Исследование естественного теплообмена в верхних слоях грунта в Московской области // 27 межд. науч.-техн. конф. студ. и асп. РЭЭ. Москва, 11–12 марта 2021 г. Тез. докл. М.: Радуга, с. 684.

*Е.П. Гончарова, Н.Э. Тукбаев, студ.;
рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ТЕПЛООБМЕНЕ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ ГРУНТА БЕЗ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

В связи с изменением климата и сокращением запасов органического топлива все более актуальным становится вопрос о рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов. Одним из способов решения этой проблемы является сокращение затрат энергии на работу систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий с использованием тепловых насосов. Для систем теплоснабжения наиболее рационально использовать электроэнергию для работы теплонасосных установок. Самым распространенным и стабильным источником теплоты является теплота грунта, которая уже широко используется. Представляет интерес одновременное использование тепловых насосов для отопления и кондиционирования в зимний и летний периоды года на одном грунтовым теплообменнике. Грунт является естественным природным аккумулятором теплоты, но также может быть использован для аккумуляции и последующего полезного использования избытков теплоты, выделяемой при выработке энергии и в энергоемких технологических процессах. Теплоту можно накапливать в грунте при помощи грунтовых теплообменных аппаратов, в роли которых выступают скважины, пробуренные в толще грунта [1].

Решение полуограниченной установившейся задачи о теплообмене в верхних слоях грунта может быть представлено в виде аналитического решения уравнения теплопроводности с периодическим граничным условием [2]. Аналитическое решение сопоставляется с результатами экспериментального исследования после разложения результатов измерения в гармонический ряд Фурье и применения метода суперпозиции [3].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, грант № МК-1456.2022.4.

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 // Труды X межд. шк.-сем. ЭТиП. Москва, 19–23 октября 2020 г. с. 82–87.
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики // 1999. М.: Издательство МГУ. 799 с.
3. Пурдин М.С., Косенко Д.А. Исследование естественного теплообмена в верхних слоях грунта в Московской области // 27 межд. науч.-техн. конф. студ. и асп. РЭЭ. Москва, 11–12 марта 2021 г. Тез. докл. М.: Радуга, с. 684.

А.А. Воробьев, Я.А. Кирюхин, студенты;
рук. Горелов М.В. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА РАСЧЁТНОЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ИТП

Повышение энергетической эффективности жилых зданий является актуальным вопросом. Большая доля потребления теплоты приходится на ЖКХ, в связи с этим неэффективное теплоснабжение приводит к перерасходу энергетических, материальных и финансовых ресурсов.

Цель работы — исследование влияния актуализации нормативной документации на расчетное потребление теплоты на нужды отопления и горячего водоснабжения.

Объект исследований — 17-ти этажный 4-х секционный жилой дом на основе серии 222, расчетное количество жителей — 500 человек.

В результате проведения анализа нормативной документации были установлены основные показатели, влияющие на тепловую нагрузку системы ГВС и отопления: средняя температура наружного воздуха за отопительный период, продолжительность отопительного периода, среднесуточный расход горячей воды. Тенденции изменений с 2000 по 2021 год представлена на рис. 1, где t — средняя температура воздуха при $t \leq 8^\circ\text{C}$, $Z_{от}$ — длительность отопительного периода.

На основании расчетных параметров для разных актуализированных редакций СНиП были рассчитаны годовое потребление теплоты на нужды отопления и горячего водоснабжения. В 2006 году расчетное потребление системы отопления — $Q_{\text{от}}=1167250$ кВт·ч/год, на горячее водоснабжение — $Q_{\text{hw}}=1116290$ кВт·ч/год, за 2021 год — $Q_{\text{от}}=1179524$ кВт·ч/год и $Q_{\text{hw}}=1261341$ кВт·ч/год.

Актуализация нормативных документов в том числе направлена на повышение качества жизни населения: снижение периода проведения планово-предупредительных ремонтов, увеличение температуры горячей воды в местах водоразбора. Перечисленные факторы приводят в итоге к увеличению как расчетного, так и фактического потребления теплоты.

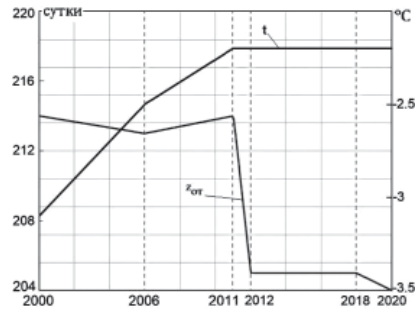


Рис. 1. Изменение расчетных параметров отопительного периода

Литература

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов — 9-е изд., стереот. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 472 с.

*Н.В. Авдокунин, аспирант;
рук. И.В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СХЕМАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЦОД

В работе производится оценка экономии энергоресурсов в центрах обработки данных (ЦОД) для следующих схем с воздушным охлаждением: с теплонасосной установкой (ТНУ) и промежуточным контуром; с подогревом воздуха в теплообменнике; с подогревом воздуха и с использованием промежуточного контура. Оценка экономии энергоресурсов основана на тепловых и материальных балансах системы. Для сравнения схем был предложен удельный показатель энергетической эффективности системы, представляющий собой отношение полученной полезной теплоты к располагаемой теплоте вентиляционных выбросов. Данный показатель зависит от продолжительности работы системы, температуры удаляемого и приточного воздуха, эффективности теплообменника, коэффициента трансформации ТНУ и не зависит от объема выделяемой теплоты.

При оценке энергоэффективности с использованием разработанного параметра было выявлено, что схема с промежуточным контуром и теплонасосной установкой с точки зрения энергоэффективности имеет меньший интерес (рис. 1), так как удельная экономия энергоресурсов не может быть больше, чем экономия при непосредственном использовании утилизируемого тепла в системе вентиляции ЦОД. Несмотря на то, что удельная экономия при использовании ТНУ меньше, чем непосредственное использование теплоты в системе вентиляции ЦОД следует иметь в виду, что система с использованием ТНУ работает на протяжении всего года по сравнению с другими.

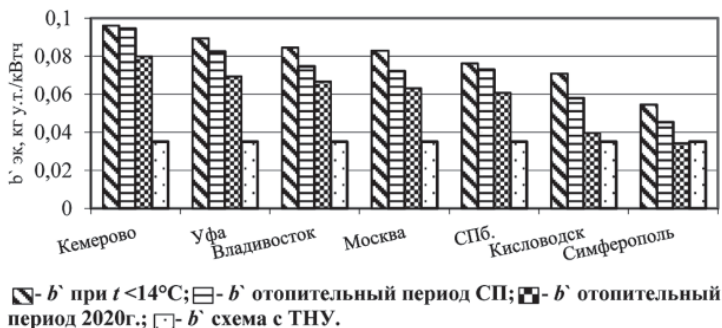


Рис. 1. Сравнительная диаграмма удельной экономии в зависимости от периода и местоположения

Н.Э. Тукбаев, студ.; рук. М.С. Пурдин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЕПЛОТЫ В ГРУНТЕ

В современном мире проявляется все больший интерес к нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии. Главными особенностями использования теплоты грунта является экологическая чистота и высокая энергетическая эффективность.

Для оценки эффективности грунтового аккумулятора теплоты принимается ряд допущений: температура поверхности скважины изменяется вместе с температурой теплоносителя по всей длине скважины, шестигранная форма аккумулятора теплоты приводится к цилиндрической, глубина скважины на порядок больше диаметра аккумулятора теплоты, а диаметр одной скважины на порядок меньше диаметра аккумулятора теплоты.

На рис. 1. представлено изменение амплитуды колебаний интегральной температуры (коэффициента аккумуляции), отнесенной к амплитуде колебаний температуры теплоносителя, и ее фазы от числа Фурье

$$Fo = \frac{a\tau}{2\pi l^2}$$

где a — температуропроводность, m^2/c , τ — период колебаний, c , l — радиус аккумулятора теплоты, м. Результаты получены решением параболического уравнения теплопередачи для цилиндрической системы координат в среде MathCAD. Методика подробно описана в [1].

При $Fo > 10$ коэффициент аккумуляции близок к 1, а аккумулятор с таким коэффициентом работает наиболее эффективно. При меньших числах Фурье количество запасаемой теплоты сильно снижается, а фаза значительно увеличивается. При малых числах Фурье теплота достаточно медленно распределяется в теле аккумулятора.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, грант № МК-1456.2022.4.

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 // Труды X межд. шк.-сем. ЭТиП. Москва, 19–23 октября 2020 г. с. 82–87.

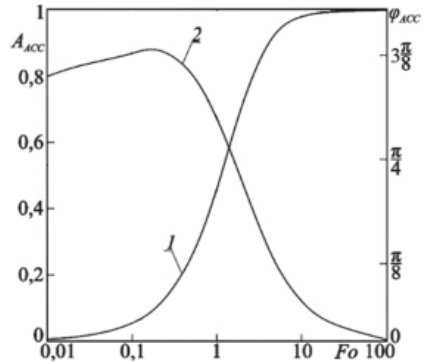


Рис. 1. Амплитуда (1) и фаза (2) колебаний коэффициента аккумуляции теплоты в зависимости от числа Фурье при относительном диаметре скважины 0,01

*Д.В. Рязанцева, студ., А.А. Пилипенко, студ.;
рук. А.Б. Горяев д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЁТ ВЛИЯНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ВБЛИЗИ АВТОМОБИЛЬНОЙ СТОЯНКИ 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. Наличие зеленых насаждений существенно улучшает ситуацию: затенение снижает прогрев кузовов и салонов автомобилей; повышается парциальное давление кислорода, кислорода в воздухе, поскольку его выделяют деревья.

Среди условий проведения выполненного расчёта выделим наиболее главные: местом послужила автостоянка, расположенная в г. Москва на ул. Хованская, рассчитанная на 70 мест; был выбран солнечный день в июне; температура воздуха + 24°C, скорость ветра принята равной 0,5 м/с; расстояние от деревьев до автомобилей 2 м, высота деревьев около 4 м, ширина кроны 100 м; светопроницаемость крон деревьев составила 30%. В качестве времени был выбран интервал от 5 до 18 часов.

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 качестве автомобиля — Audi). В программе вычисляются температуры поверхности кузова и внутри салона. Так, результаты температур составили: на солнце — $t_{w1} = 42,1^\circ\text{C}$, $t_{s1} = 40,8^\circ\text{C}$, в тени — $t_{w2} = 28,7^\circ\text{C}$, $t_{s2} = 28,3^\circ\text{C}$. Затем производилась оценка снижения затрат топлива на кондиционирование. Разность накопленной автомобилем теплоты составила $W = 6,06$ МДж, сокращение расхода топлива — $\Delta V = 0,137$ кг, $\Delta V = 0,194$ л. При изменении климатических условий, результаты предыдущих величин составили: на солнце — $t_{w1} = 44,05^\circ\text{C}$, $t_{s1} = 42,7^\circ\text{C}$, в тени — $t_{w2} = 30,6^\circ\text{C}$, $t_{s2} = 30,3^\circ\text{C}$, $W = 6,02$ МДж, сокращение расхода топлива — $\Delta V = 0,136$ кг, $\Delta V = 0,192$ л. С увеличением температуры окружающей среды возрастают температуры кузова и салона, а разность накопленной автомобилем теплоты и расход топлива уменьшаются. Это говорит о том, что затенение влияет на энергопотребление автомобилей, но справляется хуже с более высокими температурами.

С.А. Данилов, П.А. Сапко, студ.;
рук. Г.П. Власенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Соблюдение норм энергосбережения и энергоэффективности при строительстве зданий и сооружений позволяет снизить затраты на потребление энергетических ресурсов и тем самым уменьшить негативное влияние на окружающую среду [1]. Для выявления соблюдения требований по энергоэффективности зданий была проведена работа по определению наиболее эффективных фасадных систем по [2].

Чаще всего применяют невентилируемые конструкции утепления наружных стен, где в качестве утеплителя используют плиты из минеральной ваты или пенополистирольные плиты. Также все чаще используют вентилируемые фасадные конструкции, где преимущественно в качестве утеплителя используют минеральную вату. Невентилируемые конструкции имеют большее сопротивление теплопередаче, а, следовательно, являются более энергоэффективными. Основные данные для сравнения фасадных конструкций представлены в Таблице 1.

В качестве объектов исследования были рассмотрены два жилых здания (с невентилируемой конструкцией утепления и с использованием навесных фасадных систем).

Таблица 1. Параметры наружных ограждающих конструкций

| | Вентилируемые фасады | Невентилируемые фасады |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Тип изоляции | Минеральная вата | Пенополистирол |
| $n_{\text{слоев}}$, шт. | 2 | 1 |
| $\delta_{\text{из}}$, мм | 100+50 | 150 |
| r | 0,48–0,55 | 0,6–0,7 |
| λ , Вт/м ² ·°С | 0,048 | 0,031 |
| q , Вт/м ³ ·°С | 0,135 | 0,125 |

При использовании одинаковых инженерных систем расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с наружными стенами на основе навесных фасадных систем больше, чем для здания с невентилируемой фасадной конструкцией.

Литература

1. **Федорова Э.А.** Энергоэффективные строительные материалы и технологии в конструкциях фасада зданий // Ассоциация «РАПЭТ». Официальный сайт организации // [Электронный ресурс] URL: <http://www.rapet.ru/library/teploizolyatsiya/energoeffektivnye-stroitelnye-materialy-i-tehnologii-v-konstruktsiyakh-fasada-zdaniy/> (дата обращения 05.11.2021)
2. **СП 50.13330.2012** Тепловая защита зданий. — М.: Минрегион России, 2012. — 96 с.

О.С. Прохоренко, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОТУ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ

В настоящее время в промышленности, сельском хозяйстве и в быту образуется большое количество горючих отходов. Часть данных отходов можно утилизировать путем сжигания, если это не противоречит экологическим нормам. Теплота, полученная путем сжигания горючих отходов, может быть использована в различных типах установок. В этом случае возникает вопрос о выборе автономной энергетической установки.

Целью работы является сравнение характеристик автономных энергоустановок, производящих электрическую энергию, для снабжения малых предприятий мощностью до 100 кВт.

В качестве таких установок рассматриваются установки органического цикла Ренкина (ОРС), двигатель Стирлинга, паровые машины объемного действия и паротурбинные установки малой мощности.

Сравнение характеристик автономных энергоустановок

| | Цикл Ренкина | Двигатель Стирлинга | Паровые машины объемного действия |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| Мощность, кВт | 10–2200 кВт | 9 кВт электрической и 26 кВт тепловой | 200 кВт и более |
| КПД, % | До 20% | 22–24% | 10–15% |
| Срок службы | <25 лет | 2,5 года без обслуживания | 2 года без обслуживания |
| Наличие отечественных производителей | Нет | Есть | Есть |

Проведя сравнительный анализ автономных энергоустановок, можно сделать вывод, что органический цикл Ренкина имеет ряд преимуществ такие как относительно высокий КПД, большой диапазон мощности, простое обслуживание и срок службы. Единственным недостатком данной энергоустановки — отсутствие отечественных производителей.

Литература

1. **Березин С.Р.** Технология энергосбережения с использованием паровых винтовых машин / Теплоэнергетика. 2007. № 8.

*Т.А. Матухнов, аспирант, О.Д. Матухнова, аспирант;
рук. М.Ю. Юркина, к.т.н., доц.,
рук. Н.В. Хомченко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

За последние годы стремительно увеличиваются темпы развития энерго-сберегающих технологий, в том числе из-за трудностей при добыче и использовании энергетических ресурсов.

Эффективным мероприятием для экономии топлива считается применение установок использующих альтернативные источники энергии. Одной из таких является теплонасосная установка (далее — ТНУ). ТНУ экологичны и безопасны.

При проведении сравнительного анализа рассматривались энергетические установки: ТНУ Valliant flexoCOMPACT exclusive, электрический котел Savitr Premium Plus 9 и газовый котел Vaillant turboTEC plus VUW 5. Расчет выполнен для жилого здания в г. Москве общей площадью 91,3 м².

В результате анализа получены график расхода условного топлива для разных видов энергоустановок (рисунок 1) и график затрат на покупку энергоносителя (рисунок 2). В единицах условного топлива наименьшие затраты составили 579 кг.у.т/год при использовании ТНУ. При рассмотрении затрат денежных средств на энергоноситель наименьшие затраты получены при использовании природного газа для газового котла и составили 12 779 руб/год, что в 1,85 раз меньше, чем затраты на электроэнергию для ТНУ.

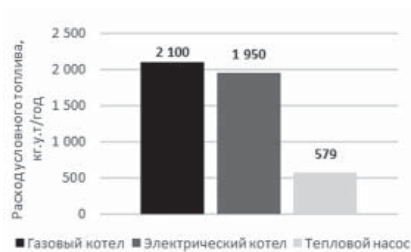


Рис. 1. График расхода условного топлива

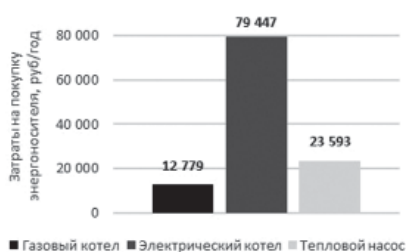


Рис. 2. График затрат на покупку энергоносителя

Литература

1. **Луканин П.В.** Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители): Учебное пособие / ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2009. 116 с.: ил. 53.

*А.П. Софроницкий, А.А. Сесин, студенты;
рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЁТ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА АГРЕГАЦИИ ГРУППЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЕЁ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Надёжность инженерных систем здания — это одна из ключевых характеристик их работоспособности, живучести, скорости восстановления. Отказ оборудования в системе теплоснабжения приводит к полной потере работоспособности системы и к последующим дорогостоящим восстановительным работам. Создание модели прогнозирования показателя надёжности позволит решить большую задачу перехода от ремонтов по регламенту к ремонтам по фактическому состоянию. В качестве объекта выбрана система теплоснабжения жилого дома, построенного в 2000 г. Согласно проектному решению, система теплоснабжения состояла из элеватора, системы отопления, ГВС и вентиляции. В 2013 году произошла замена элеватора на ИТП, индекс увеличился до $ИТС_{НАДЕЖНОСТЬ}=0,967$. В 2021 г. в схему теплоснабжения был добавлен тепловой насос, тепловая энергия от которого используется в системе отопления (остальные элементы заменам и ремонту не подвергались). Использование морально устаревшей системы теплоснабжения здания приводит к снижению её надёжности на 14,3% за 20 лет. Модернизация элеватора на ИТП приводит к восстановлению расчётного индекса надёжности на 11,0% — до значения 96,7%. Оставшиеся 3,1% — это устаревания остальной системы теплоснабжения. Дальнейшая модернизация, например, установка теплового насоса также повышает индекс надёжности до значения 99,8%. Таким образом, основная задача по сохранению надёжности системы теплоснабжения здания состоит в поддержании показателей надёжности ИТП, т.к. на оставшиеся элементы системы теплоснабжения здания приходится незначительное снижение расчётного индекса надёжности: 1,2% за 20 лет.

Литература

1. **ГОСТ 27.410-87.** Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Надёжность в технике: Сб. ГОСТов. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
2. **Тимошенко, С.П.** Основы теории надёжности: учебник и практикум для вузов / С.П. Тимошенко, Б.М. Симонов, В.Н. Горошко. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 445 с. URL: <https://urait.ru/bcode/468851>

Е.А. Киселева, студ.; рук. И.В. Яковлев к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОПРОВОДОВ НАРУЖНОЙ ПРОКЛАДКИ

Практический интерес представляет ответ на вопрос, как влияет задание коэффициента теплоотдачи на результат вычисления плотности теплового потока с поверхности теплопровода (тепловых потерь).

В работе исследуется влияние расчета коэффициента теплоотдачи на поверхности теплопровода надземной прокладки на расчетные значения тепловых потерь с учетом различных факторов. Рассматривается методика расчета коэффициента теплоотдачи с учетом совместного влияния естественной и вынужденной конвекции (ветра), основанная на известных критериальных уравнениях, и методика расчета по приближенной эмпирической зависимости.

Численные расчеты выполнены для трубопроводов стандартных размеров с толщиной изоляции из минераловатных прошивных матов согласно требованиям нормативным требованиям.

Расчеты показали (рис. 1), что в исследованном диапазоне наружных диаметров теплопроводов (менее 0,8 м) погрешность в задании коэффициента теплоотдачи (D_2) до 100% приводит к погрешности вычисления теплового потока (D_1) не более 3%.

Полученные результаты относятся к случаю стандартной тепловой изоляции теплопроводов (нормируемые тепловые потери теплопроводов), для которых термическое сопротивление изоляции существенно выше термического сопротивления теплоотдаче на поверхности.

Если термическое сопротивление изоляции становится сопоставимым с термическим сопротивлением теплоотдаче, то погрешность в задании коэффициента теплоотдачи будет приводить к существенной погрешности вычисления плотности теплового потока.

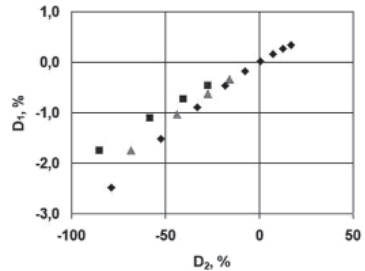


Рис. 1. Погрешность расчета теплового потока с поверхности теплопровода в зависимости от погрешности задания коэффициента теплоотдачи
Наружный диаметр, м:
♦ 0,197, ► 0,291, ■ 0,503, • 0,826

*Р.М. Бекбулатов, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф.;
В.С. Ижуткин, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ С ПОМОЩЬЮ КОНТАКТНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ

Одним из путей значительно повысить коэффициент использования топлива (к.и.т.) котельных установок является глубокая утилизация теплоты влажных дымовых газов, то есть снижение температуры отходящих продуктов сгорания до температуры точки росы или ниже с последующим выпадением конденсата. Снижение температуры отходящих газов всего на 2–4°С ведет к повышению к.и.т. установки на 1% [1]. Так же помимо полезной теплоты, полученной за счет понижения температуры газов и использования скрытой теплоты сконденсировавшихся паров, можно получить обессоленный конденсат и дополнительно очистить газы от примесей SO_x и NO_x .

В исследовательской работе была разработана схема теплоутилизационной установки с контактным теплообменником типа скруббер. Был приведен его тепловой, конструктивный и гидравлический расчет. Так же был проведен сравнительный анализ между результатами различных методик по расчету таких установок и данными с экспериментальной установки Ульяновской ГЭЦ-3, полученными Кудиновым А.А. [1]. Для предотвращения выпадения конденсата внутри и на оголовке дымовой трубы был предусмотрен такой метод защиты, как байпасирование дымовых газов. Дополнительно проведен проверочный тепловой расчет дымовой трубы, из которого сделаны выводы о безопасности теплоутилизационных установок. Определена высота дымовой трубы, достаточная для рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере. Установка такого контактного теплообменника позволит ежегодно экономить 510 тыс. м³ природного газа, а кроме того использовать образующийся при охлаждении парогазовой смеси конденсат.

По теоретическим расчетам экономический эффект от установки такого теплообменного аппарата для города Москвы за котлом ДЕ-10-14 ГМ производительностью 10 т/ч составит 2 млн 595 тыс. рублей в год. Экономия достигается за счет снижения количества сжигаемого топлива, требуемого на нагрев подпиточной воды котла и воды на нужды ГВС, а также уменьшения объема сырой воды, вместо которого можно было бы использовать образовавшийся конденсат.

Литература

1. **Кудинов А.А.** Энергосбережение в теплогенерирующих установках. — Ульяновск: УлГТУ, 2000. — 139 с.

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

*А.Г. Звончевский, студ.;
рук. А.Я. Шелгинский, д.т.н., проф. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ЗАПЫЛЕННЫХ ГАЗОВ

В докладе приводится сравнительный анализ методов и аппаратов газоочистки для химических производств на основе технико-экономического обоснования, рассматриваются наиболее перспективные системы очистки запыленных газов в производстве минеральных удобрений на основе наилучших доступных технологий. Реализация системы пылеулавливания позволит эффективно использовать тепловой потенциал вторичных энергоресурсов (ВЭР) в энерготехнологической системе производства аммофоса для достижения лучших энергетических и экономических показателей использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). В производстве аммофоса в качестве низкопотенциальных тепловых ВЭР выступают соковый пар и парогазовая смесь (ПГС). Располагаемый поток ПГС, перед поступлением в рекуперативный ТА, необходимо предварительно очищать от пыли в специальных аппаратах, учитывающих особенности физико-химического состава и гидроаэродинамических свойств ПГС [1].

На основе эксплуатационного опыта газоочистных сооружений в химической промышленности [2], сопоставления технико-экономических критериев и технологических требований к системе пылеулавливания и к теплоносителю, рассчитаны и предложены наиболее предпочтительные аппараты сухой очистки ПГС от пыли и некоторых химических соединений, влияющих на коррозионные свойства вспомогательного оборудования. При реализации систем пылеулавливания эффективностью 88,0–97,7% годовой экономический эффект от использования ПГС для подогрева воздуха, идущего в печь и сушильный барабан, составляет 3,5 тыс. т. у. т или около 38 млн. руб., при этом дисконтированный срок окупаемости наиболее эффективной системы пылеулавливания составляет 4 года.

Результаты проведенного в настоящей работе анализа позволили сформировать перечень рекомендаций при выборе газоочистных систем с целью эффективного использования тепловых ВЭР.

Литература

1. **Шелгинский А.Я.** Создание рациональных энерготехнологических комплексов промышленных предприятий — эффективный путь решения основных задач энергосбережения. Подготовлен специальный // Промышленная энергетика. 2010. № 8. С. 4–8.
2. **Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.** ИТС 2-2019. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот // Бюро НДТ: Москва, 2019. — 818 с.

*Е.А. Шелгинский, студ.;
рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. каф. ПТС (НИУ «МЭИ»)*

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ХВОСТОВЫХ ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Азотная кислота (HNO_3) является одним из самых крупнотоннажных продуктов химической промышленности. На её основе производятся нитратные азотные удобрения (аммиачная селитра и ее модификации) и удобрения, содержащие азот, калий и фосфор (комбинированные удобрения).

Основная масса неконцентрированной азотной кислоты (58%–60% HNO_3) производится на агрегатах УКЛ-7(М) и АК-72(М). Исходными веществами для производства азотной кислоты являются: аммиак (каталитическая конверсия аммиака); природный газ (каталитическая очистка хвостовых газов); паровой конденсат (является абсорбентом нитрозных газов в абсорбционной колонне).

Основные тепловые потери в производстве выходят из системы в водооборотном цикле через градирни (ВОЦ), а также с хвостовыми газами. Для снижения тепловых потерь в [1] разработана система по утилизации теплоты сжатого воздуха после первой ступени компрессора для выработки электроэнергии в детандер-генераторном агрегате (ДГА) с использованием абсорбционной холодильной машины (АБХМ).

В данной работе предлагается использовать дополнительно тепловой поток мощностью 1.3 МВт уходящих хвостовых газов в агрегатах УКЛ-7 для повышения мощности ДГА. Это решение позволяет использовать АБХМ с более высокой холодопроизводительностью, чем в изначальной системе и как следствие повысить расход газа в ДГА. Расчеты показали, что мощность ДГА возрастает на 49% по сравнению с системой, где используется только теплота сжатого воздуха. В системе ДГА используется изобутан (R600a).

Литература

1. Шелгинский Е.А., Яворовский Ю.В. Использование детандер-генераторного агрегата в производстве азотной кислоты // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать седьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (11–12 марта 2021 г., Москва): Тез. докл. — М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга”», 2021. — 1248 с. С. 702.

*С.А. Дронов, Д.В. Семин, В.Э. Панарин, студенты;
рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ РОТОРНОГО ДГА, РАБОТАЮЩИЙ НА СМЕСИ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ВОДОРОДА (МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ ASPEN HYSYS)

Водород — элемент, играющий ключевую роль в таких отраслях, как органическая химия, нефте — и газопереработка и, конечно же, энергетика.

При создании модели принимается, что в транспортируемый природный газ осуществляется подмешивание водорода. Данная технология уверенно набирает популярность в настоящее время и все чаще подлежит обсуждению в энергетической сфере многих стран.

Эксперты из Международного энергетического агентства IEA подсчитали, что добавление всего 20% водорода в европейскую газовую сеть приведет к сокращению выбросов CO₂ на 60 миллионов тонн в год [2]. Исходный состав энергоносителя для построения моделей выглядит следующим образом:

- 80% — природный газ (представляется в виде метана CH₄);
- 20% — водород (H₂).

С учетом исходных данных (температура, давление и расход), которые принимаются в соответствии с нормативной документацией, результаты моделирования следующие: для выработки 1,1 кВт электроэнергии в линию ДГА необходимо направлять 0,1101 от основного расхода газа, а именно: 11,01% от 3500 кг/ч, что составляет: 385,35 кг/ч для теплого периода года и 6,33% от 5000 кг/ч, что составляет 316,5 кг/ч для холодного периода года.

Полученные результаты при сравнении с результатами расчета модели только на природном газе не имеют ярко выраженных отличий, что позволяет сделать вывод о том, что технология подмешивания водорода в транспортируемый природный газ вполне применима в Российской газотранспортной системе с вытекающими положительными аспектами.

Литература

1. **M.W. Melaina, O. Antonina, M. Penev.** Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues // Technical Report, NREL, March 2013.
2. **Климатически нейтральный водород из природного газа** URL: <https://medium.com/internet-of-energy/wasserstoff-b8d59d66c2bd>

*А.И. Бартенев, И.Д. Калякин, асп-ты;
рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф.;
Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛОТЫ

Одним из перспективных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности систем энергоснабжения городов является применение абсорбционных трансформаторов тепла (АТТ).

В настоящей работе предложены варианты комплексной модернизации системы энергоснабжения города. Основным мероприятием является комплексная модернизация ТЭЦ с использованием АТТ для утилизации бросового тепла конденсатора и передачи его потребителям тепловой энергии, что приводит к уменьшению расхода природного газа в котлах, а так же уменьшению количества выбросов вредных. Также в работе произведена оценка модернизации пиковых котлов ТЭЦ с использованием установки глубокой утилизации теплоты и рассмотрены различные варианты данной модернизации, в том числе, с применением АТТ и парокompрессионного теплового насоса.

Другим направлением данной работы является повышение энергетической эффективности системы газоснабжения за счет модернизации компрессорной станции (КС) магистрального газопровода. Предложено использовать АТТ для выработки холода, который в свою очередь пойдет на охлаждение перекачиваемого газа на входе в газоперекачивающий агрегат (ГПА) и воздуха на всасе компрессора газотурбинного привода (ГТП). Такое усовершенствование схемы компрессорной станции позволит уменьшить потребление природного газа приводом ГПА и повысить энергетическую эффективность КС.

Предложенные мероприятия являются перспективным направлением для повышения энергоэффективности топливно-энергетического комплекса крупных городов. Наиболее целесообразными данные мероприятия становятся при комплексном подходе к их реализации.

Литература

1. **Бараненко А.В., Тимофеевский Л.С., Дологов А.Г., Попов А.В.** Абсорбционные преобразователи теплоты. СПб.: СПбГУНИПТ, 2005.
2. **Федюхин А.В., Султангузин И.А., Курзанов С.Ю., Белов Р.Б., Бакулин А.В., Шомова Т.П.** Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики: учебное пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2016. — 88 с.

О.А. Чехранова, асп; рук. Е.Г. Гашо, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ПРИНЦИПЫ НДТ

Несмотря на прогресс России в повышении энергоэффективности, страна все еще относится к группе с высоким показателем энергоемкости. Потенциал развития и роста в России широкий. Основная доля потребления первичных ресурсов занимает промышленность. Наибольшее потребление угля приходится на черную металлургию около 36 тыс. т.у.т. [2], а самый крупный потребитель электрической энергии – цветная металлургия. Но при этом у промышленности сохраняются большие резервы. Резервы объективации «углеродного следа» промышленного производства РФ связаны не с ростом мощности или выработки энергии на ВИЭ (до 1,5% на конец 2020 г.), а с более точным расчетом полной энергоемкости производства и учетом фактической поглотительной способности зеленых насаждений и биоты.

С 2015 года в России осуществляется переход на НДТ. Наилучшая доступная технология представляет собой технологию производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. [1] Существуют отраслевые и межотраслевые справочники, они выступают инструментом для реализации использования резервов с целью сокращения «углеродного следа»

В работе были проанализированы все существующие справочники и составлена их классификация по степени проработки. Например, в производстве алюминия предложено всего два решения проблемы. А также представлен обзор энергоэффективных мероприятий для снижения энергоемкости промышленности по отраслям. К примеру, выработка вторичных энергоресурсов в промышленности по статистическим данным, оценивается в 18–19 млн. тут, часть из них используется непосредственно в технологических процессах (аммиак, производство азотной кислоты и др.), часть реализуется на самих предприятиях, часть направляется для теплоснабжения поселений.

Литература

1. Федеральное агенство по техническому регулированию и методологии [электронный ресурс] URL: <http://www.standard.gost.ru> (Дата обращения 02.10.2021)
2. The International Energy Agency [электронный ресурс] URL: <https://www.iea.org> (Дата обращения 02.10.2021)

*Д.В. Сёмин, С.А. Дронов, В.Э. Панарин, студенты;
рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО ГАЗА ПУТЕМ СЖИГАНИЯ В ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТРЕБНОСТЕЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

До вступления в силу Постановления Правительства №7 от 08.01.2009 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках», фактически отражающего требования Киотского протокола, попутный газ в нефтедобывающей промышленности больше воспринимался как проблема для отрасли, нежели как ценный ресурс. Вследствие этого, чаще всего ПНГ просто сжигался в факельных установках непосредственно при выходе газа из нефтеносного пласта. Выход упомянутого постановления значительно повысил интерес к проблеме использования попутного нефтяного газа, обязав все нефтедобывающие компании достигнуть в течение нескольких лет уровня утилизации в 95% от общего объёма добычи.

Существует множество технических решений, позволяющих нефтедобывающим компаниям повысить объёмы использования попутного газа, и с точки зрения энергетики весьма привлекательным вариантом является использование ПНГ в качестве топлива для силовых машин для обеспечения потребностей нефтегазодобывающих объектов в электрической и тепловой энергии. Использование такого автономного источника энергии на основе газотурбинной установки можно считать целесообразным по двум причинам:

1. Возможно тем самым значительно уменьшить объёмы факельного сжигания ПНГ и приблизиться к уровню утилизации в 95%, снизив до минимума затраты на штрафные выплаты за сжигание нефтяного газа.
2. При использовании автономного источника стоимость 1 кВт*ч электроэнергии значительно ниже, чем при потреблении из внешней электросети. Также режимы работы такого источника и качество энергии соответствует режимам и качествам, требуемым предприятием.

Таким образом, данный метод утилизации ПНГ может нести за собой экономическую выгоду, особенно для месторождений, находящихся в удалении от развитой инфраструктуры.

Литература

1. **Книжников А.Ю., Ильин А.М.** Обзор «Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России — 2017» // Всемирный фонд дикой природы (WWF), Москва, 2017. — 32 с.

*Б. Бу Дакка, асп.; рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)
Н.Р. Картжанов, асп.; рук. М.Г. Жумагулов, PhD, доц.
(ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Промышленные газовые турбины, работающие на ископаемом топливе, уже много лет широко используются, как в производстве электроэнергии, так и в комбинированной выработке электрической и тепловой энергии. Тем не менее, они должны соответствовать строгому законодательству о выбросах NO_x, CO и CO₂ (парниковый газ) во многих странах.

Несмотря на многие преимущества сжигания, которое является основным средством выработки тепла в газовых турбинах, оно остается крупнейшим загрязнителем нашей планеты.

Чтобы повысить эффективность газовых турбин и уменьшить выбросы, мы должны улучшить процесс сжигания с использованием топливной смеси, содержащей H₂ и углеводородное топливо, что приводит к сокращению выбросов парниковых газов и улучшает стабильность сгорания [1]. Некоторые учёные, выполнившие исследования работы камеры сгорания микрогазовой турбины на смеси водорода и природного газа численно, обнаружили, что добавление значительного количества H₂ не повышает эффективность сгорания, и что большинство существующих камер сгорания газовых турбин не способны сжигать топливо с высоким содержанием водорода, если только они не модифицированы конструктивно [2]. Таким образом, процесс сжигания смеси топлива и водорода ещё требует дополнительных исследований, чтобы определить оптимальных процентных H₂ для добавки к топливу. Кроме того, необходимо провести рекуперации тепла из отходящих газов.

Литература

1. **A.F. Ghoniem, A. Annaswamy, S. Park, and Z.C. Sobhani**, “Stability and emissions control using air injection and H₂ addition in premixed combustion,” *Proc. Combust. Inst.*, vol. 30 II, no. 2, pp. 1765–1773, 2005, doi: 10.1016/j.proci.2004.08.175.
2. **Y. JX, J. CW, W. SF, Z. ZH, W. D, and M. ZD**, “Numerical investigation of the effects of hydrogen enrichment on combustion and emissions formation processes in a gasoline rotary engine,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 151, pp. 136–146, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.070>.

*С.А. Зенин, П.В. Мешалова, А.В. Шишкин, студенты;
рук. Ю.В. Яворовский, зав. каф. ПТС к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ АНАЛИЗА СТАЦИОНАРНЫХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В данной работе моделирование сетей централизованного теплоснабжения [1] выполнялось с целью изучения их тепловых и гидравлических режимов. Был создан стенд для моделирования теплогидравлической сети централизованного теплоснабжения, определения возможностей систем дистанционного мониторинга и диспетчеризации, а также моделирования аварийных ситуаций на участках тепловой сети. Цифровая динамическая модель стенда была разработана в среде MATLAB Simulink. Схема экспериментального стенда была разработана с целью тестирования различных подходов к созданию цифрового двойника тепловой сети и оценки возможностей дистанционного управления и систем диспетчеризации.

В качестве сценариев динамических процессов были смоделированы ситуации, возникающие при работе автоматики на тепловых пунктах потребителей. Было показано взаимное влияние потребителей тепла друг на друга при регулировании тепловой нагрузки, а также их влияние на потребителей, которые не имеют возможности самостоятельно регулировать тепловую нагрузку. Динамическая модель системы теплоснабжения с 3 потребителями используется для моделирования процесса взаимного влияния потребителей тепловой энергии. Программа MATLAB Simulink позволяет создать цифрового двойника, который имитирует как стационарные, так и динамические процессы, происходящие на участках тепловых сетей [2].

Однако время, необходимое для выполнения математического моделирования, может значительно превышать продолжительность самих процессов, происходящих в реальной тепловой сети, что может иметь решающее значение для использования таких моделей в крупных системах теплоснабжения для оперативного прогнозирования режимов работы.

Литература

1. **Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mathiesen, B.V.**, 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68, 1–11.
2. **Vesterlund, M., Toffolo, A., Dahl, J.**, 2016. Simulation and analysis of a meshed district heating network. *Energy Conversion and Management* 122, 63–73.

*А.В. Шишкин, С.А. Зенин, П.В. Мешалова, Н.А. Белехова,
студенты; рук. Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОТОЛОЧНО-КАПИЛЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Одним из методов рационализации использования тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения является снижение температуры теплоносителя при применении низкотемпературных источников теплоты. Это положение — важнейший аспект, отправная точка в концепции 4-го поколения систем теплоснабжения. Однако для работы системы теплоснабжения с теплоносителем, имеющим низкую температуру, требуются отопительные приборы с большой теплопередающей поверхностью.

Настоящая работа посвящена исследованию современной низкотемпературной потолочной капиллярной системы отопления. Для проведения лабораторных исследований использовалась система потолочных капиллярных матов, установленных в аудитории С-102 НИУ «МЭИ». Для надежного функционирования системы применялась разработанная двухконтурная схема нагрева циркулирующего теплоносителя. Для объективной оценки эффективности и возможностей водяной капиллярной системы отопления BLUEMAT требовалось провести исследования квазистационарных режимов работы при постоянной температуре поверхности матов и динамических режимов при охлаждении или остывании системы, а также при переходе с одного режима на другой. На некоторых режимах работы в качестве количественных показателей была рассчитана тепловая мощность, отдаваемая системой в помещение. В ходе испытаний были выявлены основные особенности работы рассматриваемой системы: 1) капиллярные маты работают с теплоносителем низкого температурного потенциала, позволяя существенно экономить энергоресурсы; 2) система показала высокую скорость прогрева внутреннего воздуха в помещении, что соответствует современным стандартам эффективного использования энергоресурсов и позволяет с высокой скоростью и точностью регулировать параметры микроклимата в помещении и подстраиваться под требуемый оптимальный температурный график системы отопления с учетом функционального назначения помещения; 3) в ходе проведения испытаний, во время функционирования исследуемой системы, наблюдался очень небольшой температурный градиент по высоте помещения, что позволяет ликвидировать движение воздушных масс и пыли, существенно повышая комфорт людей, находящихся в помещении.

Т.Р. Абдуллин, студ.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (ФГБОУ «КГЭУ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДЕ

В основе исследования колебательных процессов в трубопроводах лежит метод вибрационного контроля, который основан на измерении и анализе параметров виброакустического сигнала [1].

Для проведения экспериментов используется прецизионный датчик KD-35a. Возбуждение колебаний в трубе производится с помощью акустического излучателя, подключенного к генератору низкочастотных сигналов. Перед проведением исследуемый трубопровод плотно закрепляется на основании, с помощью динамика и генератора частот производится возбуждение резонансных колебаний в воздушном столбе трубопровода, которые вызывают колебания стенок трубопровода, параметры которого измеряются откалиброванным пьезодатчиком [2]. Обработанные данные выводятся на экране ПК.

Передвигая датчик вдоль трубопровода с одинаковым шагом, производится измерение амплитуды стенки трубопровода. На основе полученных результатов строится диаграмма распределения колебательной энергии поверхности трубопровода.

Бездефектный участок трубопровода характеризуется гладкой характеристикой распределения амплитуды. Наличие дефекта приведет к нарушению этой «гладкости» вследствие диссипации колебательной энергии. Для исследования этого процесса эксперименты проводились на бездефектном трубопроводе с соединением в виде сварного шва. Для наглядности наличие шва будет моделировать дефект трубопровода. Явное отклонение амплитуды колебаний от заданной закономерности указывает место дефекта [3].

Литература

1. Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М.В. Акутин, Ю.В. Ваньков, А.Е. Кондратьев, Ю.Я. Петрушенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2009. — № 2. — С. 55–57.
2. **Мукадаров, А.А.** Методы калибровки пьезоэлектрических датчиков / А.А. Мукадаров // Научному прогрессу — творчество молодых. — 2020. — № 2. — С. 34–36.
3. **Загретдинов, А.Р.** Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций / А.Р. Загретдинов, А.Е. Кондратьев, Ш.Г. Зиганшин // Инженерный вестник Дона. — 2014. — № 4–1(31). — С. 27.

*В.Ю. Чайкин, И.Е. Синяков, А.Р. Шайхеева студенты;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (МЭИ, Москва)*

МЕТОД ПРАКТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНОГО АККУМУЛЯТОРА И ГРУНТЕ

Большинство программ моделирования использует показания температур в качестве реперных точек в процессе моделирования. Остальные результаты по тепловым нагрузкам, потерям и сопротивлениям высчитываются уже на основании температуры и временных интервалов. На основании результатов моделирования, происходят дальнейшие принятия решений в отношении исследуемого объекта.

При внедрении нового оборудования и технологий первым этапом является исследование и расчет работы существующей системы, а также изучение его влияния на остальные компоненты системы. В рамках исследования работы подземного аккумулятора тепловой энергии, было произведено моделирование в программе ANSYS. По итогам была получена информация о градиенте температурных распределений в тепловой изоляции и грунте рядом с баком в различных сечениях.

Для исследования правильности методик расчета, требуется провести испытания на реальном объекте. Тепловой аккумулятор подключается к системе теплоснабжения энергоэффективного дома. На данном объекте уже используется современное энергоэффективное оборудование и системы мониторинга параметров работы системы теплоснабжения. Это позволяет получать новые данные о совместной работе всех систем.

В качестве прибора для измерения температур используется датчик DS18B20. Основным плюсом данных датчиков является использование интерфейса 1-Wire. Это позволяет сократить количество соединительных проводов и упростить учет этих параметров. Для регистрации значений используется разработанное нами устройство на основе микроконтроллера ESP 8266. Использование данной модели позволяет через сеть Wi-Fi подключиться к существующей системе мониторинга ПолиТЭР и осуществить передачу параметров. Всего на данном аккумуляторе тепла установлено 68 датчиков, обеспечивающих сбор всей необходимой информации, они установлены в различных слоях и горизонтах тепловой изоляции, специально изолированные датчики производят мониторинг температуры на разных уровнях в грунте.

Данная система контроля температуры является уникальным проектом, который позволит собрать новые экспериментальные результаты. Данные, которые удастся получить при исследовании, позволят их сравнить с результатами моделирования, а также помогут более подробно изучить распределение тепла в аккумуляторе, тепловой изоляции и грунте.

Н.Л. Бударин, студ.; рук. В.Г. Хромченков, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ОРЛА

Орёл — город, расположенный в центральной части России с умеренно континентальным климатом. Основной источник тепловой и электрической энергии — Орловская ТЭЦ с установленной тепловой мощностью 725 Гкал/ч (843.2 МВт). Доля отпущенной тепловой энергии от источника составляет 66% от общей выработки города. Оставшиеся 34% делят квартальные котельные и газотурбинная ТЭЦ.

Оборудование ТЭЦ состоит из трёх энергетических котлов, трёх ПТУ электрической мощностью 110 МВт каждая и двух пиковых водогрейных котлов. Всё оборудование имеет большие парковые ресурсы [1].

Также в городе имеются 94 котельных, суммарная мощность которых составляет 387,6 Гкал/ч. Источники характеризуются большим процентом износа котлового оборудования и низким КПД.

В городе, кроме ТЭЦ и квартальных котельных, присутствуют системы индивидуального теплоснабжения — крышные и локальные котельные, поставляющие энергию 20% населения.

Тепловые потери в городских сетях варьируются в диапазоне 9–18%.

Во время экспертной оценки системы теплоснабжения города Орла, было обращено внимание на крупные источники тепловой энергии (ТЭЦ и котельные) и тепловые сети. Расчёт и анализ показателей эффективности источников показал, что система имеет большой потенциал к энергосбережению. В связи с этим, предложены мероприятия по повышению энергетической эффективности системы теплоснабжения города Орла. Основные из них:

- Снижение фактических потерь отпущенной тепловой энергии на 10–15% до уровня нормативных за счёт ремонта и замены теплоизоляции трубопроводов сетей;
- Замена 2 пиковых котлов и обследование 3 энергетических котлов и ПТУ на ТЭЦ, ремонт котлов 45 котельных, характеризующегося большим процентом износа и низким КПД (60–80%);
- Присоединение 132 локальных и крышных котельных к системе теплоснабжения ТЭЦ. Реконструкция 23 квартальных котельных и их присоединение к централизованной системе.

Литература

1. Проект схемы теплоснабжения города Орла на период с 2019 до 2035 года. Утверждаемая часть, Том 1, 2 — ООО «Центр теплоэнергосбережений». Москва, 2019 г.

*И.Е. Синяков, В.А. Поженко, В.Ю. Чайкин, студенты;
рук. С.Ю. Курзанов, к.т.н., доц., И.А. Султангузин, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», Москва)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПОДЗЕМНОГО СЕЗОННОГО АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТЫ

При проектировании и дальнейшем внедрении нового технологического оборудования необходимо оценить его предполагаемую эффективность и конечную выгоду от эксплуатации. С целью достижения данных задач проводится расчёт работы оборудования в исследуемой системе, математическое моделирование объекта и анализ с сопоставлением полученных результатов.

Исследуемый подземный сезонный аккумулятор теплоты планировался к внедрению в систему энергоэффективного дома, расположенного в Пушкинском районе Подмосковья. Данный дом является действующим объектом с эксплуатируемым энергоэффективным оборудованием.

Оценка эффективности, проектируемой конструкции теплового аккумулятора производилась на основании расчёта потерь тепла через его наружное ограждение и математических моделей, составленных с помощью программного пакета ANSYS 2021 R1 в модуле Steady State Thermal. Основной задачей расчёта и моделирования являлась оптимизация тепловых потерь сезонного аккумулятора путём подбора изоляционных материалов и их компоновки. Критериями оптимизации в данной работе являлись достижение равномерного распределения тепловых потерь по всем поверхностям теплового аккумулятора, исключение возможности нагрева слоя пенополистирола выше 80°C, ограничение бюджета на работы и закупку материалов в 1 миллион рублей. В качестве начальных условий принимались предполагаемые температуры воздуха, грунта и теплоносителя, а также теплофизические свойства теплоизоляционных материалов, воды, воздуха и почвы. В ходе исследования геометрия конструкции неоднократно изменялась, вплоть до кардинальной смены с цилиндрической формы на параллелепипед.

По результатам эксперимента значения, полученные в ходе расчёта и математического моделирования оказались различными, что может говорить о неточности работы модели. Максимальные тепловые потери через наружные ограждения теплового аккумулятора с полезным объёмом теплоносителя 35 м³, полученные в результате моделирования, составили 361,5 Вт. Данный результат является предварительным и может быть улучшен в ходе дальнейшей работы. Для подтверждения правильности методики исследования необходимо получить данные с испытания реального объекта, позволяющие подробнее рассмотреть распределение тепла в тепловой изоляции и грунте.

*Е.В. Храмова, инженер филиала АО «Татэнерго» КТС;
рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)*

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАТНОГО ТРУБОПРОВОДА

В зоне действия АО «Татэнерго» утверждённая схемой теплоснабжения температурный график 135/65°C со срезкой на 115°C, центральное качественно-количественное регулирование отпуска тепловой энергии потребителям.

После реализации программы перехода с ЦТП на АИТП возникла необходимость проведения наладки гидравлики. У потребителей установлены узлы погодного регулирования (УПР), который не справляется в полной мере поддержанием необходимых параметров[2].

Проанализировав фактические данные по температуре в обратном трубопроводе выявлена закономерность соответствия температуры теплоносителя и температуры наружного воздуха ($t_{\text{нв}}$), учитывая тот факт, что у большинства потребителей у 71% установлены УПР (на конец I квартала 2021 г. в г. Казани). Прослеживается прямая зависимость от общего процента установленного количества УПР и в тоже время для источников задаются параметры исходя из прогноза по среднесуточной температуре, однако ввиду большой протяженности и разветвленности тепловых сетей не представляется возможным корректировать параметры на источнике с такой же динамикой. Исходя из вышеизложенного и учитывая прямую зависимость температуры в обратном трубопроводе и температуру наружного воздуха, среднесуточные и среднемесячные фактические данные в подавляющем большинстве находятся в рамках ПТЭ ТЭ и не превышают увеличения более чем на 5%. Также выявлена закономерность при заданных параметрах согласно температурному графику на одну температуру наружного воздуха, но при изменении фактической температуры наружного воздуха в сторону повышения, параметры в обратном трубопроводе соответствуют графической при данной температуре.

Например, по температурному графику заданы параметры 105/57°C на $t_{\text{нв}} = -13^\circ\text{C}$, но фактическими параметрами являются параметры 105/62°C, которому соответствует $t_{\text{нв}} = -23^\circ\text{C}$, согласно параметрам температурного графика 62°C температуры теплоносителя в обратном трубопроводе, $t_{\text{нв}} = -23^\circ\text{C}$.

Для решения вышеперечисленных проблем предлагается, пересмотреть температурный график в сторону более количественного регулирования с учетом изменившихся условий после перехода на ИТП, установкой у большого количества потребителей УПР.

Литература

1. Схема теплоснабжения г. Казани на период по 2034 г. // Актуализированная версия/ Казань, 2019 г.

Б. Бу Дакка, асп.; рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА

Потери тепла в промышленных процессах можно разделить в зависимости от температуры уходящих газов на три секции (высоко-, средне-, низкотемпературное тепло). Это тепло обычно восстанавливается либо с помощью теплообменников, либо с помощью замкнутого цикла Ренкина. Однако около 60% низкотемпературных тепловых потерь остаются невосполнимыми. В настоящее время органический цикл Ренкина стал перспективным методом низкотемпературной рекуперации энергии, и появилось несколько теоретических исследований на эту тему, но экспериментальных исследований было выполнено незначительное количество.

В нашей работе мы построили лабораторный испытательный стенд рекуперации тепла мощностью 2 кВт с использованием теплообменников трубчатого типа, шестеренчатого насоса и турбодетандера на рабочей жидкости R141b. В результате мы установили, что КПД цикла растёт по мере увеличения температуры кипения и давления, но увеличение перегрева на входе расширителя приводит к снижению КПД из-за использования изоэнтропийной рабочей жидкости. На входе испарителя и выходе конденсатора происходит, соответственно, перегрев и переохлаждение рабочей жидкости, что отрицательно влияет на эффективность цикла. Количество полученного полезного тепла составило 45,4 Вт с КПД 2,24% в результате низких показателей эффективности расширителя и насоса, а также утечек во время испытания.

Разработка и производство органического цикла Ренкина требует длительной исследовательской работы и большого научного потенциала. В дальнейшем необходимо будет создать новый испытательный стенд на основе более глубокой проработки, чтобы мы могли получить более высокую эффективность расширителя и насоса, что повлияло бы на повышение КПД этого цикла. Также, нам нужно заменить рабочую жидкость в цикле на более эффективную. Несмотря на низкую эффективность, органический цикл Ренкина является перспективным способом использования потенциала низкотемпературного тепла.

Секция 37
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ
И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
Electrochemical and hydrogen energy

Председатель секции: д.т.н., профессор Кулешов Николай Васильевич

Секретарь секции: Курочкин Семен Васильевич

*Е.В. Рыжикова, студ.; рук-ли А.М. Скундин, д.х.н., проф.;
Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)*

АНОДНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ФОСФИДА ГЕРМАНИЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Разработкой литий-ионных аккумуляторов занимаются еще с 90-х годов прошлого века, и за это время величина их удельной энергии практически достигла теоретических значений. Для дальнейшего усовершенствования энергетических характеристик необходимы новые энергоёмкие анодные и катодные материалы. В настоящей работе был синтезирован фосфид германия, являющимся стабильным материалом при обратимом внедрении лития.

Синтез фосфида германия состоял из нескольких стадий: сначала на титановую пластинку были нанесены нитевидные нанокристаллы германия (GeNK), такой метод описан в [1]; далее в перчаточном боксе с атмосферой сухого аргона образцы GeNK помещали в ампулы, добавляли красный фосфор и герметично закрывали. Затем эти ампулы помещали в трубчатую печь, нагревали до температуры 650°C, выдерживали в течение 30 мин., а затем оставляли на естественное охлаждение. Таким образом, обработкой нановолокон германия парами красного фосфора (методом испарения-конденсации) был получен фосфид германия GeP, структура которого была определена рентгеноструктурным (XRD) и электронно-дисперсионным (EDAX) анализами.

Электрохимические измерения GeP проводили в трехэлектродных ячейках, в которых синтезированный фосфид германия был рабочим электродом, а два литиевых электрода — вспомогательным и электродом сравнения. В качестве электролита использовали 1 M LiClO₄ в смеси пропиленкарбонат-диметоксиэтан (7:3). Содержание воды в электролитах определено методом кулонометрического титрования по Фишеру и не превышало 15 ppm. Сборка ячеек проводилась в уже упомянутом герметичном перчаточном боксе.

По результатам циклической вольтамперометрии сделан вывод, что полученный материал способен к обратимому внедрению ионов лития, и может использоваться для отрицательных электродов в литий-ионных аккумуляторах. Обратимая ёмкость фосфида германия составляет около 1900 и около 500 мАч/г при токах 0.4 С и 6.4 С, соответственно.

Литература

1. **Gavrilin I.M., Smolyaninov V.A., Dronov A.A., Gavrilov S.A., Trifonov A.Yu., Kulova T.L., Kuz'mina A.A. and Skundin A.M.** Electrochemical insertion of sodium into nanostructured materials based on germanium // *Mendelev Comm.*, 28 (2018) 659.

*А.В. Рябухин, Р.Г. Болдин, В.Е. Елецких, Д.В. Рудаков, студенты;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗИРОВАННЫХ В МАГНЕТРОНЕ АНОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ИРИДИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ

В связи бурным развитием возобновляемых источников энергии актуальной задачей является крупномасштабное производство водорода в электролизерах разложения воды для целей накопления избытка энергии в этом энергоносителе. Сегодня объем производства такого «зеленого» водорода в мире оценивается в 1.4 млн тонн/год, к в 2050 ожидается, что он возрастет почти в 50 раз. Такие электролизеры должны иметь низкое энергопотребление, высокий ресурс, а главное быть значительно дешевле, чем предлагаемые сегодня на рынке аналоги. [1].

Актуальной задачей удешевления технологии электролиза воды с протонопроводящей мембраной (PEM WE) является разработка катализаторов с уменьшенным содержанием платиновых металлов на основе инновационных технологий. Одно из направлений — это использование более дешевых функциональных разбавителей, которые снизят стоимость электродов катализаторов, и улучшат их эксплуатационные характеристики. В качестве таких компонентов-разбавителей для катализатора анода PEM WE на основе иридия в данном исследовании исследуются молибден, цирконий и хром. Такой подход позволяет снизить закладку платины в электрод, и улучшить связь нано частицы катализатора с электродом, увеличивает его активность, также повышает коррозионные свойства носителя на основе титана.

Нанесение тонких дисперсных слоев проводилось на магнетронной установке «Краудион» путем распыления мишени из молибдена с вставками из иридия и хрома. Распыление комбинированной мишени проводилось при различных параметрах процесса. Активность катализатора определялась путем снятия анодных поляризационных кривых в трехэлектродной электрохимической ячейке с сернокислым раствором электролита. В результате получены активные аноды с минимальной закладкой благородной компоненты. Следует продолжить исследования для получения сведений по ресурсу и активности тонких каталитических структур на титановом электроде.

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.И. Быков, асп.; А.А. Титов, студ.;
рук. С.И. Ильина, к.т.н., доц. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

АВАРИЙНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Обратный электродиализ представляет собой процесс преобразования градиента солености в электроэнергию. С теоретической точки зрения рассматриваемый метод получения электроэнергии является перспективным, так как энергию можно будет получать смещением морских и речных вод.

В предыдущих работах по изучению и практическому применению обратного электродиализа было отмечено, что его невозможно использовать при больших мощностях из-за больших капитальных затрат на мембраны (около 60% от общих) и потребления электроэнергии насосами, превышающее производительность электродиализатора. Было отмечено, что возможными решениями данных проблем могут стать улучшение гидродинамических показателей электродиализатора, использование более энергоэффективных насосов, применение более современных мембран с низким сопротивлением или с возможностью работы при более низких температурах, а также использование небольших потоков и мощностей [1, 2].

В связи с этим возникает вопрос о возможности практического применения. Нами предлагается создание аварийного источника питания на основе принципа обратного электродиализа для экстремальных и критических условий. Для проведения процесса требуется градиент концентрации, и, следовательно, два потока — с низким солесодержанием (обессоленный раствор) и с высоким солесодержанием. В качестве данных потоков возможно использование, как отмечалось ранее, речной и морской воды, а также урины и речной воды или снега.

В качестве преимуществ использования данных аварийных источников питания можно также отметить отсутствие возможности протечек щелочи и кислоты в отличие от традиционных источников питания.

Литература

1. **Ильина С.И., Равичев Л.В., Вегель Д.А., Быков В.И., Титов А.А.** Оценка эффективности получения электроэнергии методом обратного электродиализа // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции Академическая наука — проблемы и достижения. — North Charleston USA, 2021. — С. 87–90.
2. **Щедрин П.А., Вегель Д.А., Ильина С.И.** Получение электроэнергии методом обратного электродиализа // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов. — 2020. — С. 486.

*С.В. Курочкин, асп.; А.А. Гаврилюк, асп.;
рук. В.Н. Кулешов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ

В рамках развития водородной энергетике в Российской Федерации до 2024 года начались активные работы по проектированию современных щелочных электролизёров воды. Одной из задач при разработке ставится применение исключительно отечественной элементной базы — чтобы полностью исключить зависимость от иностранных комплектующих. Создание электролизной батареи входит в число сложнейших этапов. Требования, предъявляемые к современным щелочным электролизным батареям, в первую очередь относятся к снижению удельных затрат электрической энергии, а также повышению чистоты генерируемых электролизных газов. Одним из факторов, обеспечивающих снижение перенапряжения выделения водорода, являются различные каталитические покрытия. Основой для данных покрытий может выступать никелевая сетка, она является коррозионно-устойчивой в условиях горячих концентрированных растворов щелочей. Однако часто возникают сложности при приварке коммерчески доступных сеток к токоподводам, расположенным внутри биполярной рамы. С целью решить данную проблему была предложена технология электроосаждения никелевой сетки. Данную технологию можно разделить на три основных этапа: подготовка в программной среде шаблона электрода с требуемыми размерами и площадками под приварку токоподводов; печать данного шаблона на плёнке и нанесение электропроводящего покрытия; помещение шаблона в гальваническую ванну и электроосаждение электрода. Работа выполнена в рамках проекта «Высокоэффективный электролизер с системой хранения генерируемых газов для энергоустановок на базе возобновляемых источников с водородным циклом накопления энергии» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика» II очередь ПНИ «Энергетика», II очередь. Секция 5. «Водородная энергетика». Проект «Высокоэффективный электролизер с системой хранения генерируемых газов для энергоустановок на базе возобновляемых источников с водородным циклом накопления энергии».

Литература

1. **Kuleshov V.N., Kuleshov N.V., Kurochkin S.V., Fedotov A.A., Sleptsova E.E., Blinov D.V., Gavriluk A.A., Zhmurko I.E.** Water electrolyzer for renewable energy systems // E3S Web of Conferences, 2021, V. 289 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128905004>

*Д.И. Тарасенко, студ.; Е.Е. Корытченкова, студ.;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания экологических технологий энергоснабжения для децентрализованных объектов. Ранее нами предложена альтернативная схема автономного энергоснабжения без использования привозного топлива [1]. Альтернативная схема содержит ветроэнергетический комплекс из парка ветрогенераторов, размещенных локально в точках с высоким потенциалом ветра, которые обеспечивают гарантированное электроснабжение даже в периоды слабого ветра. Для теплоснабжения потребителя весь избыток электроэнергии идет на термоэлектрический нагрев воды в баках накопителях, а также на получение водорода методом электролиза воды. Текущее теплоснабжение осуществляется с использованием горячей воды баков-накопителей, а теплоснабжение в период дефицита тепловой энергии осуществляется за счет сжигания запасенного водорода в конденсационных водородных котлах.

В данном расчете в качестве автономных объектов рассмотрены два реальных поселка с децентрализованным энергоснабжением на Камчатке и в Магаданской области. Предоставлены годовые и суточные графики генерации и потребления электрической энергии объектов с примерно одинаковой электрической и тепловой нагрузкой. Рассчитан годовой баланс энергии, запасаемо/извлекаемой из водорода для теплоснабжения потребителя. Исходя из этого подобрано оборудование для реализации схемы.

Показано, что для реализации предложенной альтернативной схемы энергоснабжения без использования привозного топлива является важным, чтобы ветропотенциал был высоким с минимальными периодами слабого ветра, а его внутригодовое распределение максимально совпадало с графиком тепловой нагрузки потребителя.

В качестве резервного источника питания в такой схеме можно использовать энергоустановку на водород-воздушных топливных элементах и запасенный водород.

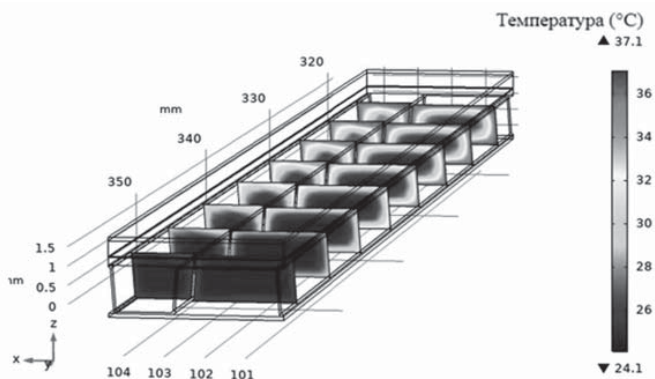
Литература

1. 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 // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;16–18:12–26.

*В.Д. Михневич, студент, М.А. Климова к.т.н., асс.;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДОРОД-ВОЗДУШНОМ ТОПЛИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ С ПРЯМОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА

В водород-воздушных топливных элементах (ТЭ) с прямой подачей воздуха при температурах окружающей среды, для отвода теплоты необходим избыток воздуха, превышающий его стехиометрическое количество в 50–100 раз [1]. Нагретый в ТЭ воздух за счет большей влагоемкости способен уносить всю реакционную воду с катода ТЭ, тогда высушивание протонообменной мембраны приводит к падению мощности батареи топливного элемента. Актуальным является моделирование теплообменных процессов и нахождение граничных режимов, которые обеспечивает нормальное функционирование топливного элемента при различных параметрах окружающего воздуха. Найдены профили распределения температуры в различных сечениях батареи топливных элементов (БТЭ) (пример ниже)



Проведены расчеты соотношения массы воды, уносимой с воздухом из батареи топливных элементов и массы воды, генерируемой на катоде топливного элемента при различных токах и параметрах воздуха.

Таким образом определены условия стабильной работы энергосистемы на топливных элементах с открытым катодом при различных токах нагрузки и значениях температуры и влажности окружающего воздуха.

Литература

1. S.I. Nefedkin, M.A. Klimova, V.S. Glasov, V.I. Pavlov, Y.V. Tolmachev Effect of the corrugated bipolar plate design on the self-humidification of a high-power density PEMFC stack for UAVs. Fuel Cells 2021, 1–20.

*М.В. Козлова, асп.; М.А. Соловьев, асп.; С.И. Бутрим, асп.;
С.В. Курочкин, асп.; рук-ли И.В. Пушкарева, к.т.н.;
А.С. Пушкарев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННО- ЭЛЕКТРОДНЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ВОДЫ С АНИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

За последнее время были разработаны анионообменные мембраны (АОМ), которые можно успешно применять в щелочных электролизерах воды, в качестве альтернативы традиционному щелочному электролизу воды на основе диафрагм [1].

Электролиз воды с АОМ обладает такими преимуществами, как возможность использовать недорогие катализаторы на основе неблагородных металлов, относительная простота конструкции, возможность использовать щелочной электролит с низкой концентрацией.

Несмотря на то, что технология электролиза воды на основе АОМ является многообещающей, на сегодняшний день проведено еще не так много исследований и нет достаточного количества информации о свойствах АОМ, а также о составе электродов и подходах к изготовлению мембранно-электродных блоков (МЭБ) [2].

Ранее [3] была исследована производительность нескольких коммерчески доступных АОМ в идентичных условиях. Были определены характеристики МЭБ электролизера воды с АОМ, а также их омическое сопротивление в зависимости от температуры и концентрации электролита. Однако влияние способа изготовления МЭБ и мембранных материалов на производительность и долговечность электролизера с АОМ до сих пор недостаточно изучено и является одной из целей представленного исследования.

Исследование проведено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук (МК-407.2021.1.3)

Литература

1. **Vincent I.** Low cost hydrogen production by anion exchange membrane electrolysis: A review // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 81.
2. **Lim A.** A study on electrode fabrication and operation variables affecting the performance of anion exchange membrane water electrolysis // *J. Ind. Eng. Chem.*, 2019, 76.
3. **Pushkareva I.V.** Comparative study of anion exchange membranes for low-cost water electrolysis // *Int. J. Hydrogen Energy.* 2020, 45.

*А.А. Зацепин, аспирант, Е.П. Елисеева, студент;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

РАЗРАБОТКА ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА СИСТЕМЫ Li-LiCoO₂ С ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Сегодня литиевые аккумуляторы являются безусловными лидерами среди существующих химических источников тока. Основной проблемой литиевых вторичных систем является жидкий электролит, находящийся в их структуре. В результате коррозионной активности жидкого электролита происходит уменьшение энергетических характеристик, ресурса и в целом сохраняемости аккумулятора. Также литий-ионные аккумуляторы являются взрывоопасными. Решением проблемы является замена жидкого электролита на твердополимерный, который исключит вероятность короткого замыкания, уменьшит габариты аккумулятора и повысит энергетические показатели источника. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию литий-полимерного аккумулятора на основе системы Li-LiCoO₂ с полимерным электролитом.

В работе исследовано влияние параметров синтеза электролита на основе сополимера фторсодержащего полисульфона и полисульфидсульфона (ПФДФП + ПСФС) на электрохимические характеристики литиевого электрода, находящегося в контакте с ним. Варьировали температуру и продолжительность сушки. Уставлено, что зависимость поляризации литиевого электрода от продолжительности сушки при фиксированной температуре имеют экстремальный характер. Полученные экспериментальные данные можно объяснить следующим образом: минимизация продолжительности сушки приводит к формированию пленок полимерного электролита, содержащих жидкую фазу растворителя и не растворившуюся в структуре полимерной матрицы соль. Последнее является причиной снижения электропроводности электролита и образования на литии пассивной пленки и дополнительного сопротивления переносу катиона через межфазную границу электрод-электролит. При строго определенной оптимальной для достижения максимальных физико-химических свойств полимерного электролита продолжительности сушки происходит наиболее полное испарение растворителя и растворение солевого компонента в структуре сополимера. Дальнейшее увеличение продолжительности сушки, а также температуры приводит к ухудшению механических и адгезионных свойств пленок полимерного электролита, что и подтверждается экспериментами.

Расчетная часть работы посвящена разработке литий-полимерного аккумулятора на основе системы Li-LiCoO₂ призматической формы. Разработанный источник тока имеет емкость 5,460 А·ч и по данному параметру превосходит промышленные аналоги более чем на 30%.

Е.В. Чиркова, студ.; рук. Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СЛОИСТОГО ОКСИДА НИКЕЛЯ, КОБАЛЬТА, АЛЮМИНИЯ ПРИ ЦИКЛИРОВАНИИ

Слоистый оксид никеля, кобальта, алюминия ($\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$, NCA) является перспективным материалом положительного электрода (катода) для литий-ионных аккумуляторов. Его практическая разрядная емкость составляет более 200 мАч/г, что превышает разрядную емкость широко используемого в настоящее время кобальтата лития (LiCoO_2). Основной недостаток NCA — деградация при циклировании. В настоящем исследовании с помощью методов хронопотенциометрии, циклической вольтамперометрии и спектроскопии электрохимического импеданса изучены причины деградации NCA при циклировании.

Электроды для электрохимических исследований были изготовлены из коммерческого $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$ (GELON, China) по стандартной намазной технологии [1]. Электрохимические измерения NCA проводили в трехэлектродных ячейках, в которых NCA был рабочим электродом, а два литиевых электрода — вспомогательным и электродом сравнения. В качестве электролита использовали 1 М LiClO_4 в смеси пропиленкарбонат-диметоксиэтан (7:3). Содержание воды в электролитах определено методом кулонометрического титрования по Фишеру и не превышало 15 ppm. Сборка ячеек проводилась в уже упомянутом герметичном перчаточном боксе.

По результатам циклической вольтамперометрии, хронопотенциометрии и спектроскопии электрохимического импеданса сделан вывод, что на первых 10–15 циклах деградация NCA связана с ростом твердоэлектролитной пленки на частицах NCA и увеличением сопротивления переноса заряда. На последующих циклах деградация NCA связана с изменением процесса твердофазной диффузии лития в NCA.

Литература

1. Kuz'mina A.A., Kulova T.L., Tuseeva E.K., Chirkova E.V. Specific Features in the Low-Temperature Performance of Electrodes of Lithium-Ion Battery // Russian Journal of Electrochemistry, 56 (2020) 899.

*А.К. Щербинина, Н.А. Сергейцев, студенты;
рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, Москва)*

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА

Литиевые химические источники тока с каждым годом получают всё большее распространение в различных областях экономики. Литиевые первичные источники тока и литий-ионные аккумуляторы используются в энергетике, в IT и сфере телекоммуникаций, в области медицинского оборудования, фото- и видеоаппаратуры, компьютерной техники. Литий-ионные (Li-ion) и литий-полимерные (Li-Pol) системы представляются наиболее перспективными для изучения и дальнейших разработок, так как обладают высокими удельными энергетическими характеристиками. В качестве одного из путей совершенствования литиевых аккумуляторов рассматривается оптимизация состава и структуры композиционного положительного электрода.

Катод представляет собой смесь LiFePO_4 с электропроводной добавкой и связующим в нанодисперсном состоянии. В данном электроде используется полимерный электролит. В качестве электропроводной добавки в активной массе катода использовалась сажа и пенографит. Эксперименты показали, что использование пенографита в качестве электропроводной добавки позволяет получить более стабильную разрядную характеристику. Использование пенографита также позволяет значительно снизить саморазряд электродов. Электрод с пенографитом обладает более высоким потенциалом разряда при увеличении тока при изменении его от 0 мА до 0,5 мА в сравнении с электродами, где в роли электропроводной добавки выступает сажа. Оптимизация содержания углеродного компонента показала, что максимальные параметры положительного электрода достигаются при содержании пенографита и сажи на уровне 7% и 11% соответственно. Также немалый интерес для исследования представляет изучение влияния процентного содержания твердополимерного электролита в активной массе катода на его электрохимические характеристики. Экспериментально установлено, что оптимальное для достижения максимальных электрических параметров содержание сажи находится на уровне 8%. Меньшей содержание электролита ухудшает транспортные характеристики электрода, а увеличение доли твердополимерного электролита приводит к снижению удельной ёмкости по причине уменьшения содержания литий-железо-фосфата и ухудшением гомогенности активной массы.

На базе предложенных катодов разработан призматический Li/LiFePO_4 аккумулятор с повышенными энергетическими параметрами до 35% превышающими параметры аналогов.

С.А. Ли, Е.В. Рыжикова, студенты; рук-ли А.М. Скундин, д.х.н.,
Т.Л. Кулова, д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МАССЫ СЕРНОГО ЭЛЕКТРОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИТИЙ-СЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

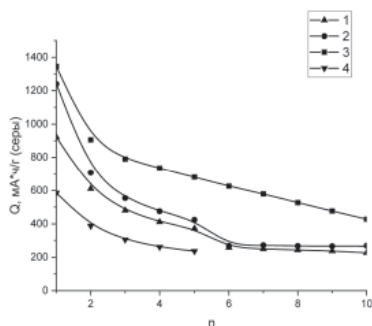


Рис. 1. Зависимости разрядной ёмкости от номера цикла аккумуляторов с разными активными массами положительного электрода: 1 — с МПУ без обработки HNO_3 , 2 — с МПУ после обработки HNO_3 , 3 — углеродной сажей, 4 — с УНТ

способствует некоторому росту начальной ёмкости аккумулятора; электрод с сажей имеет более высокую ёмкость по сравнению с тем, в котором использовался МПУ, но так же имеет большую скорость деградации; ячейка с УНТ имеет наиболее низкую начальную ёмкость, но относительно малую скорость деградации.

В данной работе было исследовано влияние способа синтеза активных веществ на характеристики литий-серных аккумуляторов. Были протестированы четыре вида активной массы для положительных электродов аккумулятора. В первой активной массе использовалась смесь серы, электропроводящей добавки в виде сажи и ПВДФ, во второй использовались композит серы и мезопористого углерода (МПУ), обработанного в процессе приготовления азотной кислотой HNO_3 , в третьей массе был такой же состав, но углерод ничем не обрабатывался, а в четвертом случае роль электропроводящей добавки в композите играли углеродные нанотрубки (УНТ).

На рисунке 1 видно, что обработка мезопористого углерода азотной кислотой в процессе приготовления композита спо-

*С.И. Бутрим, студ.; М.В. Козлова, студ.; М.А. Соловьев, асп.;
рук-ли А.С. Пушкарев, к.т.н.; И.В. Пушкарева, к.т.н.;
С.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ВОДЫ С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

Водород является перспективным экологически безопасным энергоносителем для транспорта и промышленного производства. В минувшие годы наблюдается возросший интерес к электролизерам воды с протонообменной мембраной (ПОМ), поскольку они позволяют получать газы высокой чистоты и отличаются высокой производительностью, эффективностью и маневренностью по нагрузке.

В связи с агрессивными условиями работы анода срок службы электролизеров воды с ПОМ зависит от коррозионной стойкости применяемых материалов, что вынуждает использовать дорогостоящие биполярные пластины и газодиффузионные электроды (ГДЭ) на основе Ti [1]. Характерной проблемой электролизеров воды с ПОМ является рост внутреннего сопротивления мембранно-электродных блоков (МЭБ) при продолжительной работе, который обусловлен пассивацией поверхности анодного ГДЭ на границе с каталитическим слоем, и усугубляется неравномерным распределением плотности тока по электроду. Возможным решением вышеописанной проблемы является нанесение на поверхность электродов защитных покрытий из стойких в такой среде материалов — благородных металлов: Pt, Au и Ir [2]. Эффективным альтернативным методом является предварительная химическая обработка поверхности ГДЭ, а именно контролируемое выщелачивание Ti в HCl, в процессе которого образуется поверхностный слой TiN, повышающий электрохимическую стойкость ГДЭ [3].

В представленной работе приведены результаты проведённых электрохимических, структурных и морфологических исследований ГДЭ с защитными покрытиями. Представленная методика травления поверхности ГДЭ является многообещающим методом защиты электродов от коррозии, замедляющим пассивацию, и позволяет увеличить срок стабильной службы МЭБ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-58-26022.

Литература

1. Kang Z. // Int. J. Hydrog. Energy. 2018, 1–11.
2. Shirvanian P. // Electrochem. Commun. 2020, 114, 106704.
3. Bystron T. // J. Appl. Electrochem. 2018, 48, 713.

Д.В. Огородова, студ.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ПИРОЛИЗА МЕТАНА

Согласно Энергетической стратегии России к 2024 году планируется экспортировать 0,2 млн. тонн водорода, а к 2035 году — 2 млн. тонн. [1]

В настоящее время существует несколько промышленных способов получения водорода: конверсия метана водяным паром, газификация угля, пиролиз метана, электролиз воды. Электролиз воды считается перспективным и экологичным методом, но дорогим. Паровая конверсия выигрывает в стоимости, однако данный способ сопровождается выбросом CO_2 , а полученный в результате водород требует очистки.

Технология пиролиза метана на расплаве металла позволяет использовать теплоту гелия для подогрева жидкого металла, через который барботирует природный газ. Пиролиз метана по сравнению с перечисленными методами имеет ряд преимуществ: относительно небольшая стоимость, нулевой выброс CO_2 , возможность утилизации образующегося в ходе реакции углерода. Еще одним доказанным достоинством данного способа является решение проблемы закоксовывания установки за счет флотации углерода к поверхности расплава.

Однако, чтобы получать товарный водород и начать тиражировать его производство, необходимо решить ряд проблем, связанных с разработкой конструкции установки и процессами пиролиза. Выбор металла определяется тем, что он должен иметь низкую температуру плавления и не образовывать карбиды, поэтому чаще всего используют олово и свинец. Одной из ключевых проблем является выделение углерода из зоны реакции для дальнейшей утилизации. Необходимо также определить оптимальные режимные параметры для достижения высоких значений селективности водорода. Исследования показывают, что с повышением температуры расплавленного металла, выход водорода увеличивается. Минимум температуры, при котором достигается существенная конверсия метана 57% составляет 750°C (расход газа $15 \text{ мл}\cdot\text{мин}^{-1}$), однако это возможно лишь при использовании пористых металлических фильтров, рассекающих ввод газа в расплав. [2] Максимальное значение конверсии составило 78% при 1175°C и расходе исходного газа $50 \text{ мл}\cdot\text{мин}^{-1}$. [2].

Литература

1. **Энергетическая стратегия России до 2035.** Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. №1523-р.
2. **Парфенов В.Е.** Пиролиз метана водородного направления: особенности применения металлических расплавов (обзор) [Электронный ресурс] / В.Е. Парфенов, Н.В. Никитченко, А.А. Пименов [и др.] // Журнал прикладной химии — Самара, 2020 г. — с. 611–619. URL: https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7798

Т.А. Гатауллин, студ.;

рук. Д.О. Дуников, к.ф.-м.н, доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ АНОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Активный рост потребления энергии оказывает огромную нагрузку на окружающую среду, поэтому в настоящий момент перед ученым сообществом стоит важная задача поиска нового экологически чистого топлива. Хранение энергии является одним из ключевых факторов для устойчивого развития нового энергетического уклада, основанной на ресурсосберегающих возобновляемых энергетических технологиях. Электрохимическое хранение энергии является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений для хранения энергии ВИЭ [1]. На данный момент, хорошей альтернативой ископаемым топливам может стать водородная энергетика, если водород будет производиться электролизом воды с применением возобновляемых источников энергии, то такую энергию смело можно называть “зеленой”. При этом запастись энергией можно как в гидридах металлов, так и в никель-металлогидридных (Ni-MH) аккумуляторах.

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 АВ₅-типа на основе LaNi₅. 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 на основе La_{0,8}Ce_{0,2}Ni₄Co_{0,4}Mn_{0,3}Al_{0,3}, такие как скорость активации, максимальной разрядной емкости, производительности электродов при высоких плотностях тока и циклической стабильности.

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.Ю. Свеженцева, студ.;
рук. Д.В. Блинов, доцент (НИУ «МЭИ»);
А.Н. Казаков, соиск. (ОИВТ РАН)

ВОДОРОДСОРБЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ АВ₅ ТИПА

В настоящее время отмечается значительный рост производства и потребления энергии, что влечёт за собой серьёзное негативное воздействие на окружающую среду. Разработка экологически чистых источников энергии является важным и перспективным направлением развития энергетики. Недорогие, надежные и эффективные методы хранения энергии будут важной частью новых энергетических систем на основе возобновляемых источников энергии. Водород в качестве вторичного энергоносителя находит свое место в глобальной стратегии устойчивого энергетического развития в 21-м веке. Производство водорода можно реализовать с использованием возобновляемые источники энергии, в таком случае полученная энергия будет считаться «зелёной». Наряду с физическими методами хранения водорода, существуют химические методы, основанные на обратимом образовании гидридных фаз в кристаллической структуре водородпоглощающего материала. Такая технология реализована в анодных материалах Ni-MH аккумуляторов.

На данный момент ведутся активные исследования многокомпонентных металлгидридных материалов для практического применения в Ni-MH аккумуляторах. Такие аккумуляторы обладают рядом преимуществ, такими как высокая удельная плотность хранимой энергии, устойчивость к перезаряду/перезаряду, быстрой кинетикой заряд-разряда, экологичностью и безопасностью. В качестве анода в Ni-MH аккумуляторах используются интерметаллические соединения (ИМС), способные обратимо поглощать и выделять водород при нормальных условиях. Путем варьирования состава ИМС можно изменять рабочие характеристики, такие как разрядная емкость, скорость активации, циклическая стабильность и другие свойства. ИМС АВ₅ типа отличаются высокой каталитической активностью, легкостью активации и циклической стабильностью и являются одним из популярных коммерчески используемых материалов [1].

Целью данной работы является создание электродов на основе $\text{La}_{0.6}\text{Ce}_{0.2}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_4\text{Co}_{0.4}\text{Mn}_{0.3}\text{Al}_{0.3}$ и исследование их электрохимических свойств: кинетика активации, максимальная разрядная емкость, производительность электродов при высоких плотностях тока и циклическая стабильность.

Литература

1. **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.

*Н.С. Сергиенко, студ.; рук. Д.В. Блинов, доцент (НИУ «МЭИ»);
А.Н. Казаков, соиск. (ОИВТ РАН)*

ВОДОРОДСОРБЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ АВ₂ ТИПА

В настоящее время активный рост мирового потребления энергии из природных ископаемых топлив в значительной степени увеличивает выброс вредных веществ в атмосферу, что является одним из факторов глобального потепления и изменения климата. Перед мировым сообществом стоит проблема поиска и внедрения альтернативных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Хранение энергии является одним из ключевых факторов для устойчивого развития нового энергетического уклада, основанного на ресурсосберегающих возобновляемых энергетических технологиях. Электрохимическое хранение энергии является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений для хранения энергии ВИЭ [1].

Технология Ni-MH аккумуляторов обладает рядом преимуществ для практического применения, такими как высокая удельная плотность хранимой энергии, устойчивость к перезаряду/переразряду, быстрой кинетикой заряд-разряда, экологичностью и безопасностью. Основным компонентом Ni-MH аккумуляторов, влияющим на их характеристики, является водородпоглощающий материал на основе интерметаллических соединений (ИМС) различных типов. Для повышения электропроводности, механической стабильности электродов используются различные добавки к активному водородопоглощающему материалу.

ИМС способны обратимо поглощать и выделять водород при нормальных условиях. ИМС АВ₂ типа обладают высокой разрядной емкостью, но плохой активацией и циклической стабильностью. За счет большего разнообразия замещающих элементов, использования более дешевых материалов и предварительной обработки можно добиться получения перспективных дешевых АВ₂ сплавов с более высокой плотностью энергии, хорошей кинетикой, быстрой активацией [2].

В данной работе были приготовлены и исследованы металлгидридные электроды на основе сплава АВ₂ типа состава $Zr_{0.65}Ti_{0.35}Ni_{1.3}V_{0.2}Mn_{0.2}Co_{0.1}Al_{0.1}$, смешанные с карбонильным никелем в соотношении 1:4. Целью работы является изучение электрохимических свойств приготовленных электродов, таких как активация, максимальная электрохимическая емкость, производительность при высоких плотностях тока.

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.

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

И.А. Жеман, студ.; рук. Е.В. Сухарева, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЭС С ПГУ

В настоящее время отсутствует единый подход к разработке системы управления эффективностью. Кроме того, существует необходимость разработки объективных методов оценки и прогнозирования показателей стоимости предприятий. Из особенностей нынешней российской экономики — относительно высокая и переменная во времени инфляция, динамика которой часто не совпадает с динамикой валютных курсов.

Предметом исследования являются теоретические и методические подходы к использованию энергоэффективных технологий на газотурбинных установках (далее — ГТУ), позволяющих снизить издержки, получить дополнительную прибыль от реализации выполняемого внедрения.

Основной целью обоснование экономической сущности предлагаемых вариантов модернизации по оценке эффективности инвестиционного проекта, влияющих на издержки и чистую прибыль предприятия, от полученной дополнительной электроэнергии.

По приведенным задачам, для успешного внедрения необходима модель, которая применима для действующих объектов, планируемых к реконструкции ГТУ, с целью оценки изменения основных технико-экономических показателей работы ТЭС в целом [1].

Результатом определения методов оценки эффективности функционирования ТЭС с ПГУ является:

- исследование существующих методов оценки эффективности, выявление их недостатков и возможностей применения для ТЭС;
- усовершенствование методики оценки экономической эффективности, улучшению основных показателей финансовой составляющей инвестиционного проекта по итогам проведенной модернизации;
- разработка алгоритма (модели) использования при расчетах основных финансово-экономических показателей, выбор вариантов модернизации.

Произведена оценка капитальных затрат на модернизацию и годовых затрат на техническое обслуживание (на примере энергоблока ПГУ-420, одного из объектов ПАО «Мосэнерго»). Найден годовой экономический эффект за расчетный период, который складывается из выручки от реализации дополнительной электроэнергии и увеличения установленной мощности, за вычетом затрат на перерасход топлива.

Литература

1. **Коссов В.В. и др.** Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов // М.: Экономика. — 2018.

Н.Д. Куликова, студ.; рук. Е.И. Рукина, ст. преп. (НИУ МЭИ)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «СУЭНКО»

В современных условиях в финансовой жизни предприятий значение финансовой устойчивости для хозяйствующих субъектов значительно возрастает, что значительно повышает роль рационального управления финансовыми ресурсами компании.

Целью такого управления является анализ финансовой устойчивости предприятия при помощи финансового анализа. В работе анализ включал определение платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности, рентабельности, банкротства, кредитоспособности, анализ изменения дебиторской и кредиторской задолженности.

Объектом анализа выступает АО «СУЭНКО» — «межрегиональная многопрофильная энергетическая компания юга Тюменской и Курганской областей. Компания входит в группу компаний ООО «Корпорация СТС» и относится к энергетической отрасли» [1]. В таблице 1 представлены результаты расчета финансовых показателей компании.

Таблица 1. Финансовые показатели АО «СУЭНКО» за 2019–2020 гг.

| Показатель | 2019 год | 2020 год |
|--------------------------------------|----------|----------|
| Общий показатель платежеспособности | 0,87 | 0,69 |
| Коэффициент финансовой независимости | 0,583 | 0,582 |
| Рентабельность продаж | 3,93 | 6,36 |
| Экономическая рентабельность | 1,42 | 2,12 |

Для повышения финансовой устойчивости были предложены следующие мероприятия:

- Уменьшить дебиторскую задолженность на 4 000 000 000 руб. при помощи факторинга;
- снизить себестоимость продаж на 1%;
- увеличить проценты к получению на 6,967%;
- уменьшить убытки прошлых лет.

В таблице 2 отражено изменение показателей после данных мероприятий.

Таблица 2. Изменение показателей после предложенных мероприятий

| Показатель | До изменений (%) | После изменений (%) |
|------------------------|------------------|---------------------|
| Рентабельность продаж | 6,36 | 11,81 |
| Рентабельность активов | 2,12 | 4,3 |

Литература

1. **Электронный ресурс:** о компании АО «СУЭНКО» [Электронный ресурс] — режим доступа: <https://www.suenco.ru/o-kompanii/>

Ю.А. Давыдова, студ.; Е.Ю. Абрамова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «ИНТЕР ПАО»)

Для России развитие энергетического сектора является необходимым условием функционирования и развития экономики страны. В связи с особенностями отрасли, имеющимися рисками и крупными капитальными вложениями вопрос об инвестиционной привлекательности компании очень актуален.

В связи с этим возникает необходимость в комплексном изучении компании. Существуют разные системы, методы и подходы к оценке инвестиционной привлекательности, но такие системы универсальны, они не учитывают специфику отрасли. Многие критерии, которые учитывают существующие системы оценок, не настолько важны, следует выбрать наиболее подходящие показатели для энергетических компаний [1].

Объектом исследования является энергетическая компания ПАО «Интер ПАО».

Цель работы — определить необходимые показатели, характерные для энергетической отрасли и построить систему оценки инвестиционной привлекательности энергетических компаний.

В работе были определены следующие показатели, которые по мнению автора, являются наиболее значимыми и учитывающие специфику отрасли: показатель выбросов CO₂, капитализация, выручка, EBITDA, коэффициент Чистый долг / EBITDA, уровень инновационной активности, установленная электрическая мощность.

Для каждого показателя был рассчитан вес методом анализа иерархий, который учитывается в системе оценки.

На примере ПАО «Интер ПАО» — была проведена апробация данной модели. Полученные показатели, имеют следующие результаты: за 2018 г. организация имеет хорошую позицию для инвестирования, хотя некоторые показатели недостаточно высокие, за период 2019–2020 гг. многие показатели снижают свои значения, в результате чего позиция предприятия в системе оценки попадает в группу с риском, для инвесторов стоит производить более детальный анализ при инвестировании в данное предприятие.

Литература

1. **Костюкова Е.И., Журавлева А.В.** Формирование универсальной системы показателей инвестиционной привлекательности бизнес-проекта // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 9 (456).

Е.А. Пехова, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ АКТИВНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

На сегодняшний день, общемировая тенденция внедрения и осуществления цифровизации процессов в сфере экономики энергетики, видоизменяет энергетическую отрасль. Одно из таких изменений — концепция «Активный потребитель». Её цель — предоставить самостоятельность потребителям на рынке электроэнергетики для оптимизации своих расходов. [1]

В рамках работы изучены интересы ключевых участников рынка при цифровизации. Полученный результат выявил, что концепция позволит соблюсти интересы конечных потребителей. Поэтому было рассмотрено три предположительных вида потребителей на рынке электроэнергетики — активный, условно-активный, пассивный. Их позиция зависит от условий и возможностей имеющегося оборудования и квалификации. Согласно маркетингу, главным фактором для вовлечения потребителя на рынок электроэнергетики является наличие экономического эффекта (экономии), если его нет, то концепция не принесет результатов. Данное условие является интересом потребителя. Для выявления экономической эффективности был разработан алгоритм оценки экономического эффекта и представлена модель активного потребителя на рынке электроэнергетики, проживающего в Московской области. Способы становления активным — с помощью цифровизации и собственной генерации.

По результатам проведённых расчетов, экономически эффективным оказался способ цифровизации, где срок окупаемости составил 4 года. Собственная генерация (солнечная) возможна, но этот способ неэффективен, из-за высоких капитальных затрат, которые окупятся только через 50 лет, и неблагоприятных климатических условий в исследуемой области, даже при экономии потребления на 45,6%.

Таким образом, можно предположить, что не все потребители будут активными на рынке электроэнергетики. С другой стороны, потребители получают возможность самостоятельно управлять расходами на потребление электроэнергии, а у производителя будет возможность снижения нагрузки и затрат в пиковые часы работы электростанции. Что, в итоге, приведет к соблюдению интересов участников рынка электроэнергетики и создадутся эффективные условия работы рынка.

Литература

1. **Energy and environment:** Renewables overtook fossil fuels in EU electricity mix in 2020: Report 25.01.2021 г. [Электронный ресурс] — www.reuters.com.

Т.В. Носова, студ.; рук. В.В. Бологова доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ГЕНЕРАЦИИ НА РОЗНИЧНОМ РЫНКЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЪЕКТОВ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Относительная недоступность сетевой инфраструктуры, рост тарифов, высокая стоимость технологического присоединения и услуг по передаче электрической энергии, повсеместное нарушение качества услуг в сфере электро — и тепло-снабжения привели к устойчивому росту интереса потребителей к развитию малой (распределенной) генерации. [1]

Но развитие малой распределенной энергетики в нашей стране испытывает затруднения. Это обусловлено рядом факторов [1, 2]: отсутствие механизма, стимулирующего развитие малой энергетики; высокая стоимость технологического присоединения объектов МРЭ к электрическим сетям; законодательство о газоснабжении не содержит механизмов, регулирующих долгосрочные поставки газа, необходимых для развития МРЭ.

Одним из факторов, стимулирующих развитие объектов малой энергетики, может стать создание таких условий работы, при которых для данных объектов будет действовать тариф, как у гарантирующего поставщика. Добиться этого можно за счет привлечения денежных средств, выделяемых государственным или местным бюджетом с целью оказания финансовой поддержки. Этот тариф должен действовать на этап возврата инвестиций, после чего он снижается и уже формируется с учетом текущих расходов.

В работе, в том числе была рассмотрена возможность снижения финансовой нагрузки по технологическому присоединению. Предлагается использовать средства из бюджета, полученные на возвратной основе. Объект генерации будет постепенно возвращать средства длительного времени, один из вариантов — в течение всего расчетного срока.

В результате реализации предлагаемых в работе мероприятий повышается эффективность работы объектов малой распределенной энергетики, в результате этого ожидается увеличение их общего количества и рост доли генерации объектов малой энергетики в общем объеме вырабатываемой электроэнергии.

Литература

1. **Татаринов Ю.** Собственная генерация на предприятии: правовые аспекты деятельности в области производства и реализации электрической энергии на розничных рынках // Энергетика и право. — 2016. — № 1. 45–47.
2. **Камалиева Л.И.** Проблемы реализации проектов распределенной генерации // Москва — 2019.

Е.А. Шестакова, студ.; рук. А.В. Горбенко, к.э.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ КОМПАНИИ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА

Эффективная деятельность предприятий энергетики, стабильные темпы работы и конкурентоспособность в современных экономических условиях в значительной степени определяются качеством управления финансами, что обуславливает актуальность проведенных исследований. [1]

Научная новизна работы заключается в разработке методики, сочетающей различные методы анализа финансовых результатов деятельности предприятия, что позволяет определить наиболее рациональные способы использования ресурсов и сформировать структуру средств компании. Разработанная автором методика включает количественную оценку ряда финансовых показателей. [2] Расчетные значения показателей, ранжированных с учетом весовых коэффициентов, сопоставляются с нормативными значениями, объединенными в три группы, на основе которых рассчитывается итоговый показатель. [3]

Таблица 1. Комплексный анализ количественных показателей энергогенерирующей компании

| Коэфф. | Знач. | Норма Коэф. по категориям | | | № катег. | Вес знач. | Сумм. баллов |
|--------------------------|-------|---------------------------|-----------|---------|----------|-----------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| Абс.ликвид. | 2,77 | >0,1 | 0,05–0,1 | <0,05 | 1 | 0,05 | 0,05 |
| Быст.ликвид. | 4,06 | >0,8 | 0,5–0,8 | <0,5 | 1 | 0,1 | 0,10 |
| Тек.ликвид. | 5,03 | >1,5 | 1,0–1,5 | <1,0 | 1 | 0,4 | 0,40 |
| Нал.собст.ср. | 0,72 | >0,25 | 0,15–0,25 | <0,15 | 1 | 0,2 | 0,20 |
| Рент.продаж (обяз.знач.) | 0,09 | >8,0 | 3,5–8,0 | нерент. | 3 | 0,15 | 0,45 |
| Рентаб.деят. | 0,062 | ≥0,06 | <0,06 | нерент. | 1 | 0,1 | 0,10 |
| Оборач.ДЗ | 25,3 | <26,5 | 26,5–52,8 | >52,8 | 1 | 0,01 | 0,01 |
| Соотнош.ДЗ и КЗ | 1,29 | >1,0 | 0,8–1,0 | <0,8 | 1 | 0,2 | 0,20 |
| Фин.устойч. | 0,82 | 0,81-0,9 | 0,5–0,8 | неуст. | 1 | 0,11 | 0,11 |
| Фондоотдача | 2,50 | >3,1 | 1,0-3,1 | <1,0 | 2 | 0,04 | 0,08 |
| | | | | | | 1 | 1,70 |

Вывод: предложенный подход позволяет комплексно проанализировать текущее финансовое состояние энергогенерирующей компании и ее дальнейшее развитие с учетом всего спектра современных проблем.

Литература

1. **Федулова С.Ф.** Теория и практика финансов. // Ижевск, Изд-во Институт экономики и управления, ФГБОУ ВПО «УдГУ», 2018.
2. **Юзвович Л.И.** Финансы, денежное обращение и кредит. // Екатеринбург: Изд-во Урал. Федер. ун-та, 2019.
3. **Некрылова Н.В.** Анализ финансового состояния коммерческой организации. // Пенза: Изд-во ПГУ, 2017.

Н.Р. Олейникова студ.; рук.: Е.Е. Крыленко, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ АКТИВАМИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ

Повышение эффективности управления производственными активами тепловых электрических станций (ТЭС) достаточно актуальная проблема, так как в настоящее время в России более 60% потребленной энергии производится на ТЭС со сравнительно невысоким значением КИУМ 46% [1]. Значительный физический и моральный износ производственных активов на ТЭС свидетельствует о плохом техническом состоянии энергокомпаний (за пределы паркового ресурса вышли 59,9% турбин (797 единиц) и 69,3% котлоагрегатов (1429 шт)).

Анализ работ таких авторов, как Черных Ф.Ю., Оклей П.И., Колесник Ю.Н., Веньгин К.А., показал, что для оценки текущего технического состояния активов наиболее распространены экспертные методы, позволяющие выявлять ошибки и технические перебои в работе оборудования, а также создавать резерв финансовых, материальных и трудовых ресурсов для обеспечения бесперебойной работы. Для экспертных оценок авторы предлагают привлечь «Федеральное агентство по техническому регулированию метрологии». [2]

Так как оценка технического состояния на ТЭС является ключевым моментом процесса управления, то в работе проанализированы теоретические аспекты управленческого менеджмента, включающие в себя принципы, этапы и варианты управления энергопотреблением с целью повышения энергоэффективности. При грамотном подходе использование суточных графиков нагрузки позволит спланировать и сократить потребление энергии в разные промежутки времени, а так же уменьшить потери, снизив удельную себестоимость.

Дальнейшее исследование будет направлено на разработку мероприятий по повышению эффективности управления производственными активами за счет оптимизации графиков нагрузки.

Литература

1. **Крыленко Е.Е.** Механизм устойчивого развития электрогенерирующего комплекса с учетом изменения бизнес-уклада: Автореферат, 2020. — 24 с.
2. **Оклей П.И.** Оценка эффективности управления эксплуатацией тепловых электростанций: Научная статья, Журнал: Экономика устойчивого развития, 2016. — 303–309 с.

М. Т. Кириллова, студ.; рук. Д. Э. Мусаева, к. э. н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

Вся деятельность энергетических компаний, связанная с инвестированием в целях достижения полезного эффекта, происходит в рамках технологической связи с энергосистемой страны, таким образом, существуют актуальная потребность в разработке критериев для оценки эффективности инвестиционной политики предприятия.

В рассмотренных подходах к оценке инвестиционной политики не уделяется достаточного внимания системе показателей, характеризующих инвестиционный риск. Поэтому для оценки состояния инвестиционной политики и ее эффективности предлагается использовать комплексный интегрированный показатель, с помощью которого можно провести сравнительный анализ качества управления существующими инвестиционными ресурсами с двух позиций: отраслевой и с позиции отдельного предприятия с учетом всех рисков.

Методика сводится к соотношению текущего значения каждого показателя с желательным значением. Каждому из используемых показателей, присваивается определенный уровень значимости в диапазоне от 0 до 1, при условии, что функция желательности стремится к 1. Функция желательности (D) в общем виде представляет собой среднюю геометрическую желательностей отдельных показателей [1].

$$D = \sqrt[m]{d_1 * d_2 * \dots * d_i}$$

где d_i — желательность i -го показателя;

m — число показателей, использованных для расчета.

Показатели, используемые для формулирования оценки интегрированного показателя эффективности инвестиционной политики, рассчитываются на основе технико-экономических результатах с учетом возможных отклонений под воздействием рисков, что обеспечивает технологическую взаимосвязь с системой и актуальное состояние в определенный период времени.

Литература

1. **Пидяшова О.П.** Интегральная оценка эффективности инвестиционной политики предприятий: на примере хлебопекарной промышленности Краснодарского края: автореф. дис. канд. экон. Наук: 08.00.05 / Пидяшова Ольга Петровна. — Краснодар, 2015. — 23 с.

М.В. Кахальников, асп.; рук. Е.В. Сухарева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ ЗА СЧЕТ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ

Важнейшим аспектом повышения эффективности работы ТЭЦ, является высокоэффективная выработка тепловой и электрической энергии в комбинированном производстве, с использованием эффективной системы управления производственными затратами. В настоящее время необходима разработка подходов, не требующих значительных капитальных затрат и, в первую очередь, направленных на повышение эффективности режимов работы станций с существующим составом оборудования [1].

Новые требования к повышению эффективности ТЭЦ, выдвигает специфика управления предприятием в условиях большой доли изношенного оборудования при работе в условиях введения новых федеральных стандартов бухгалтерского учета.

Целью работы являлась разработка подхода к повышению эффективности деятельности ТЭЦ за счет перераспределения.

В ходе работы сформирована совокупность сценариев, определяющих возможности повышения эффективности работы ТЭЦ в современных рыночных условиях. Предложен подход к повышению эффективности деятельности ТЭЦ за счет перераспределения производственных затрат на модернизацию и ремонт оборудования по видам энергетической продукции с учетом термодинамических и экономических особенностей комбинированной генерации, что позволит не только повысить инвестиционную привлекательность данных проектов, но и сформировать методические рекомендации для компаний.

При апробации подхода проведена оценка экономической эффективности по традиционной и усовершенствованной методике. Оценка результатов проекта выполнена для различных вариантов распределения затрат. Подход с перераспределением затрат позволяет увеличить чистый дисконтированный доход на 1,4 млн. руб., индекс доходности на 0,16, а срок окупаемости снизить на 6 месяцев.

Литература

1. **Сухарева, Е.В.** Планирование эффективной работы ТЭЦ // Экономические науки, 2020, № 6, С.82–86.

А.И. Косолапов, студ.; рук. Д.Г. Шувалова, доц., к.э.н. (НИУ «МЭИ»)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОСБЫТОВОЙ КОМПАНИИ

Вопросы совершенствования организационной структуры для энергокомпаний особенно актуальны, так как многие предприятия недостаточно адаптированы к реализации новых задач и целей отрасли, а также в связи с постепенным изменением внешней среды энергобизнеса.

Актуальность выбранной темы для энергосбытовой компании обусловлена несостоятельностью применения советских принципов организации и нормирования труда для сравнительно нового бизнеса, что в настоящее время не только не конкурентоспособно, но и способствует ухудшению деятельности предприятия.

Для достижения цели работы был сформирован алгоритм совершенствования организационной структуры энергосбытовой компании, позволяющий учитывать особенности именно этого вида деятельности в современных реалиях российской экономики, а также определен экономический эффект от предложенного алгоритма и его потенциала. Объектом является энергосбытовая компания АО «Мосэнергосбыт — Процессинговый центр».

Был составлен алгоритм совершенствования организационной структуры энергосбытовой компании, включающий следующие этапы:

1. Предпроектная стадия;
2. Анализ организационной структуры;
3. Выявление технологических и организационных особенностей предприятия и возможности их преобразования;
4. Изменение организационной структуры;
5. Внедрение преобразованной организационной структуры;
6. Оценка эффективности преобразованной организационной структуры;
7. Оформление результатов и контроль за деятельностью предприятия.

Данный алгоритм позволил повысить прозрачность и управляемость организационной структуры АО «Мосэнергосбыт — Процессинговый центр», а также обеспечит возможность оптимизировать кадровый состав и выявить экономию на фонде заработной платы.

В результате преобразований произошло: сокращение штата на 49 сотрудников, сокращено 2 структурных подразделения и 5 отделов. Четыре структурных подразделения сохранили существующие функции, но произошла оптимизация количества сотрудников.

Затраты на автоматизацию составили 11 533 045 р., а экономический эффект 127 960 595, 43 р., что подтверждает на практике эффективность применения предложенного алгоритма.

Д.А. Гончаров, студ.; рук. В.В. Бологова, доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РАЙОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВИЭ

Вопросы обеспечения надежности энергоснабжения стоят на одном из первых мест для энергетических предприятий. Однако используемые при этом методы оценки имеют недостатки применительно к оценке показателей надежности систем генерации на основе ВИЭ.

В России, большая часть территории находится вне единой энергетической системы. Во многих таких местах единственным источником электроэнергии исторически являются дизельные генераторы (ДГ), которые обладают рядом недостатков, в т.ч. низкой надежностью. Уменьшить частоту отказов ДГ, возможно за счет создания автономных гибридных энергоустановок (АГЭУ) использующих ВИЭ. При планировании и проектировании АГЭУ на основе ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) необходимо провести оценку надежности, т.к. главным недостатком ВЭИ является зависимость от природных ресурсов, имеющих непостоянный характер. Аналитический обзор существующих методов оценки надежности АГЭУ показал, что недостаточно полно учитываются [1, 2]: технические отказы генерирующего и вспомогательного оборудования; влияние погодных условий на надежную работу.

По итогам проведенного анализа методик оценки надежности, был усовершенствован логико-вероятностный метод для оценки надежности АГЭУ, позволяющий учитывать изменения погодных условий, аварийные отказы и послеаварийные ремонты оборудования. После оценки надежности АГЭУ было выявлено, что годовая ожидаемая выработка э/э, определенная по предлагаемой методике, будет ниже на 3,5%, а расходы увеличатся в среднем на 2%. Также в работе была проведена оценка экономической эффективности различных конструкций АГЭУ с учетом надежности и без нее.

Предлагаемая методика оценки надежности энергоснабжения позволит более точно планировать состав и условия работы АГЭУ в результате чего снизится ущерб от перебоев в энергоснабжении изолированных потребителей.

Литература

1. **Тремясов В.А.** Теория надежности в энергетике. Надежность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию // СФУ, 2018. — 164 с.
2. **Кривенко Т.В.** Развитие моделей и методов оценки надежности автономных систем генерации, использующих возобновляемые источники энергии // СФУ, 2018. — 128 с.

*Е.А. Кудинова, студ.; Е.А. Мохорт, студ.;
рук. Д.Г. Шувалова, доцент, к.э.н. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ 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 изменения носят не только технический, но и экономический характер, что непосредственно влияет на структуру затрат и себестоимость передачи электроэнергии.

Суть работы заключается в выявлении основных тенденций изменения себестоимости передачи электроэнергии и трансляции этих изменений в тарифе. С ростом числа ЦПС в энергосистеме в себестоимости произойдут структурные трансформации: значительно сократятся такие статьи затрат, как фонд оплаты труда и ремонт электрооборудования.

Внедрение ЦПС потребует дополнительных инвестиций, намного превышающих затраты на возведение стандартной электрической подстанции, при этом дополнительный резерв экономии скрыт в оптимизации пространственных решений, что важно для городов.

Оценки экономической целесообразности строительства ЦПС путем расчета и сопоставления издержек при работе обслуживаемой подстанции и цифровой выявили, эффективность проектов внедрения ЦПС с учетом их срок окупаемости и срока реализации проекта.

Анализ себестоимости передачи электроэнергии с применением различных технологий способствует совершенствованию процесса управления затратами, а также выявлению резервов экономии. Результаты исследования 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.С. Драгин, студ.; рук. Д.А. Фрей, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКОНОМЕТРИКИ

На сегодняшний день Россия является четвертым по величине энергетическим рынком по объему производства и потребления в мире. Спрос на электроэнергию в 2020 году сократился на 2,3% до 1050,4 млрд кВтч. Снижение потребления напрямую связано с изменением климата, пандемическими ограничениями и соглашением ОПЕК+ [1]. Последний из этих факторов привел к падению спроса на электроэнергию со стороны нефтегазодобывающих компаний на 11,9%, а предприятий логистики (по транспортировке нефтепродуктов и газоперекачивающих станций) на 18%.

Эти факторы напрямую влияют не только на снижение прибыли крупных компаний, но и на увеличение тарифов на электроэнергию.

Поскольку на ОРЭМ государство не регулирует ценообразование, то возникает конкуренция по цене у генерирующих, сбытовых компаний и гарантирующих поставщиков. Так как нерегулируемая цена — это в большей степени себестоимость поставщика, то он заинтересован в снижении затрат на производство электроэнергии. Для поддержания положительной динамики развития компании применяются различные методы прогнозирования спроса на электроэнергию, как правило, они цикличны и имеют ограниченную информацию. Для получения высокоточных прогнозов можно применить метод пространственной эконометрики. Если регионы собираются в пространственные кластеры по уровню потребления электроэнергии, обнаруживается взаимосвязь, можно попытаться улучшить качество прогноза потребления электроэнергии с помощью включения пространственных компонентов в модель. На практике, при использовании данного метода, при формировании краткосрочных и долгосрочных прогнозов удалось выйти на более низкий процент отклонений, что в свою очередь привело к снижению затрат сбытовой компании, и тем самым увеличило ее прибыль в среднем на 1,5–2% в год. Сэкономленные деньги сбытовая компания смогла потратить на обслуживание системы (модернизация старых систем и внедрение новых).

Для конечных потребителей в перспективе — последствия выражаются в более доступных тарифах на электроэнергию, а именно снизятся постоянные и переменные затраты. В целом система энергопоставок будет значительно эффективнее, что повысит общественное благосостояние.

Литература

1. Сажин Ю.В., Иванова И.А. «Эконометрика» 2019 г. — с. 86.

В.А. Семенова, студ.; рук. Д.Э. Мусаева, к.э.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ВИЭ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ РЫНКА «ЗЕЛЕННЫХ» СЕРТИФИКАТОВ

«Зеленые» сертификаты являются привлекательным финансовым и регуляторным инструментом, используемым в мире для реализации механизма квотирования возобновляемой энергетики (ВИЭ) и поддержки ее развития [1].

Для оценки спроса на «зеленые» сертификаты в РФ необходимо сравнить стоимость углерода и стоимость сертификата. Представленные оценки позволили сделать вывод, что спрос на «зеленые» сертификаты будет расти в ближайшее время, так как цены на углерод будут расти в условиях декарбонизации экономики.

Принимая во внимание текущее состояние отрасли электроэнергетики, можно сделать вывод, что основополагающая роль в формировании стоимости энергетических компаний принадлежит доходному подходу [2].

Для оценки финансовой жизнеспособности энергетических проектов было предложено использовать показатель нормированной стоимости энергии (LCOE). Данный показатель используется для сравнения затрат на срок службы различных технологий производства электроэнергии. С помощью показателя LACE (Levelized Avoided Cost of Energy) рассчитывается «ценность», которую те или иные технологии приносят в энергосистему.

Таким образом, эффективность инвестиций в ВИЭ с учетом «зеленых» сертификатов будет определяться на основе расчета эффективности их использования. Для всесторонней оценки потенциальных проектов сооружения объектов ВИЭ необходимо сравнить показатели LACE и LCOE, что позволит сопоставить затраты и выручку по конкретному проекту и сделать вывод о его экономической целесообразности.

Литература

1. Программа поддержки ВИЭ в электроэнергетике // Ассоциация «НП Совет рынка». — М., 2019. // www.np-sr.ru/sites/default/files/20190326_vie_posle_2024_kef_-_5.pdf.
2. Добровольный спрос на «зеленую» электроэнергетику как фактор развития возобновляемой эрэнгетики // Материалы к V Конференции «Приоритеты рыночной электроэнергетики в России: ВИЭ после 2024 года». — Пятигорск. — 2018. // Ассоциация «НП Совет рынка» // https://www.npsr.ru/sites/default/files/2_dobrovolnyy_1.pdf.

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

М.А. Полевой, асп.; рук. А.В. Аникеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ НАРУШЕНИИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

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 нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях (ПА) в качестве исходных данных принимались температурные условия тепловыделяющего элемента.[1] Но, так как ПЭЛ находится в направляющем канале, то условия охлаждения тепловыделяющего элемента и ПЭЛ отличаются.

Отсюда возникает потребность в определении температурного состояния ПЭЛ и выполнения анализ позволяющего более реалистично определить изменения температуры ПЭЛ в аварийных процессах, и позволит проверить отсутствие плавления поглощающего материала и конструкционных материалов ПЭЛ.

Анализ температурного состояния ПЭЛ проводится с использованием теплогидравлического расчетного кода КОРСАР\ГП. Данная работа выполняется отдельно для режимов с разгерметизацией первого контура и без разгерметизации первого контура. Для режимов без разгерметизации первого контура со сбрасыванием и без сбрасывания 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». [1]

Данная работа демонстрирует реалистичное температурное состояние ПЭЛ и его конструкционных материалов, а так же отсутствие плавления поглощающего материала и оболочки ПЭЛ при аварийных процессах. Результаты данной работы использовались для проектов 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.

М.М. Бедретдинов, асп.;
рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
О.Е. Степанов, к.т.н., начальник группы (АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»)

ВАЛИДАЦИЯ КОДОВ КОРСАР/ГП И СОКРАТ/В1 ДЛЯ УСЛОВИЙ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

В 2018 году на кафедре водородной и ядерной энергии Энергетического института Дрезденского технического университета были выполнены экспериментальные исследования выкипания теплоносителя в 140-стержневой тепловыделяющей сборке (ТВС) ALADIN [1]. Эксперименты были проведены для ТВС типа BWR при мощностях каждого из стержней 20, 50, 70 и 100 Вт.

Опытные данные, полученные в этих экспериментах, были использованы для валидации теплогидравлических кодов КОРСАР и СОКРАТ. Для проверки сходимости численного решения было выполнено варьирование размеров расчетных ячеек и определен их размер, при котором численное решение перестает зависеть от размера ячеек.

Выполненные расчеты показали хорошее совпадение расчетных результатов с экспериментальными данными по моменту начала оголения стержней и по максимальной температуре оболочки. При этом результаты, полученные с применением кодов, демонстрируют тенденцию к направленности отклонений в консервативную сторону, т.е. дают занижение момента оголения по сравнению с экспериментами.

Интересно отметить, что согласно экспериментальным данным оголение греющей части наступает раньше для экспериментов с меньшей мощностью единичного стержня. Этот эффект, по всей видимости, связан с более высоким парообразованием и ростом физического уровня с увеличением мощности ТВС. Данный эффект находит качественное подтверждение также и результатами расчетов.

Этот эффект необходимо учитывать при анализе безопасности в аварийных режимах с отказом системы охлаждения бассейна выдержки. Путем сравнения с экспериментальными данными определены параметры расчетных моделей для получения наиболее точных результатов.

Литература

1. **C. Partmann, C. Schuster, A. Hurtado.** Experimental investigation of the thermal hydraulics of a spent fuel pool under loss of active heat removal conditions // Nuclear Engineering and Design. 2018. № 330, pp. 480–487.

*А.Л. Малышева, асп., Симонов А.Е.;
рук. Ю.Б. Воробьев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»),
Чьонг Ван К.Н. (Vietnam Atomic Energy Institute)*

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

В докладе представлен подход на основе совместного использования ряда расчетных кодов для решения проблемы растрескивания трубчатки парогенераторов (ПГ) атомных ледоколов. В частности, формулируются направления работ по разработке и расчетно-теоретическому обоснованию механизма возникновения аномального наводороживания титанового сплава в месте экспериментально обнаруженного растрескивания [1], приводятся результаты расчетов.

Во всех зафиксированных случаях отказов ПГ атомных ледоколов причиной является аномально наводороживание титанового сплава. Исследование причин данного негативного явления в материалах конструкции позволит обосновать рекомендации по их устранению и тем самым обеспечит герметичность трубчатки ПГ [2].

На основе многофизического, многомасштабного подхода для расчетного исследования процессов радиационно-химических превращений, межфазного массопереноса и транспорта компонентов водного теплоносителя разработана подробная модель ПГ на основе кода улучшенной оценки Relap5. Были рассчитаны макропараметры, хорошо совпавшие с проектными значениями. Полученные характеристики теплоносителя в элементах ПГ использовались далее в моделях CFD кода, которые моделируют сложное движение теплоносителя первого контура на входе в ПГ и на выходе из него и предназначаются для уточненного анализа возможности транспорта газов в нижней части ПГ на входе во внутренний цилиндр (стакан). Предложенные CFD модели доказывают возможность транспортировки газа до входа в оболочку трубы питательной воды и далее по стакану питательных труб. Полученные результаты показывают обоснованность выбранного подхода.

Литература

1. **Отчет ФГУП ЦНИИКМ «Прометей».** Анализ результатов материаловедческих исследований и испытаний образцов, вырезанных из ПГ-28 АППУ, а/л «Таймыр», разработка, оформление и согласование заключений и рекомендаций, 2015 г.
2. **А.М. Бахметьев, Н.Г. Сандлер и др.** Анализ возможных причин и механизмов отказов трубных систем парогенераторов атомных судов. Арктика: экология и экономика № 3 (11), 2013 стр. 97–101.

Н.С. Волков, А.Р. Маров, асп.;

рук. Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВОГО НАСОСА ОТ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ В СРЕДЕ СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В настоящее время одной из проблем создания реакторных установок с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ) является проектирование проточных частей циркуляционных насосов, так как существующие расчетные методики требуют экспериментального обоснования.

В лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ проводится комплекс экспериментальных исследований, отражающий специфику работы проточных частей осевых насосов в условиях контуров со свинцовым и свинцово-висмутым теплоносителями.

Научная новизна настоящей работы состоит в том, что впервые в мире отражены результаты исследований напорно-расходных и других энергетических характеристик лопастных насосов с проточными частями осевого типа применительно к установкам с ТЖМТ [1].

Экспериментальные исследования проводились на высокотемпературном (400–550 град С) циркуляционном стенде с расходом свинцового теплоносителя до 2000 т/час на моделях осевых колес для определения следующих зависимостей характеристик (напор и подача) осевых насосов:

- 1) от параметров выправляющего аппарата на выходе из рабочего колеса;
- 2) от закрутки потока на входе в рабочее колесо насоса относительно направления вращения рабочего колеса насоса;
- 3) от угла отгиба входного участка лопатки решетки профилей рабочего колеса;
- 4) от геометрии выходного участка лопаток решеток профилей рабочего колеса.

Полученные экспериментальные данные, учитывающие специфику воздействия ТЖМТ на элементы проточной части насоса, рекомендуется использовать для обоснования конструкции главных циркуляционных насосов РУ с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями.

Литература

1. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. — М.: ИздАТ, 2007.

*Д.К. Долгополов, студент;
рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ДВИЖЕНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВТОРОГО КОНТУРА В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА

Опыт эксплуатации атомных ледоколов показал, что существует проблема повреждаемости трубной секции парогенераторов (ПГ), заключающаяся в ее растрескивании [1]. Поэтому оценка текущей обстановки в ПГ атомного ледокола и ее прогноз на будущее является исключительно важной задачей.

Разработка расчетной модели процессов в ПГ атомного ледокола позволит получить характеристики реальных процессов, понять их механизмы, оптимизировать конструкцию и разработать способы модернизации для его усовершенствования. Основной задачей данной работы является изучение движения теплоносителя второго контура в трубе в парогенераторе ПГ-28(с) с целью определения причин отказов секций трубных систем. Расчеты производились с использованием кодов вычислительной гидродинамики (CFD).

В докладе приведены конструкционные особенности участка трубной секции ПГ, подверженного растрескиванию, и изучен характер самих повреждений. Был проведен анализ зафиксированных случаев и сделан вывод, что возможными причинами образования дефектов могут быть: наводораживание со стороны 1-го контура, явление кавитации и/или образование вихрей со стороны 2-го контура, производственные дефекты.

В работе представлены расчетные модели участка трубы в районе шва № 62, где в процессе эксплуатации были зафиксированы повреждения, для основных режимов работы парогенератора ПГ-28с с учетом возможных производственных повреждений. Был проведен анализ результатов и сравнение моделей с одним или несколькими возможными дефектами.

Моделирование, проведенное в ходе данных исследований, позволило изучить явления в потоке теплоносителя второго контура, которые могли стать причиной растрескивания трубчатки. Это даст возможность в дальнейшем модернизировать конструкцию парогенераторов рассмотренного типа, чтобы решить проблему повреждаемости трубной секции в ходе эксплуатации.

Литература

1. **Д.С. Уртенев, Ю.Б. Воробьев и др.** Особенности водно-химического режима I контура и проблемы эксплуатации оборудования реакторных установок атомных ледоколов, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2020, № 8, с. 86–92.

*А.В. Чернышёв, студ.; И.И. Бухарин, асп.;
рук. С.О. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИНДИКАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ПОМОЩЬЮ КРИСТАЛЛОВ МАГНЕТИТА

В настоящее время мощность новых реакторных установок повышена на 20% и время между планово-предупредительными ремонтами атомных электростанций (АЭС) увеличено с одного года до полутора лет. В связи с этим стали более острыми вопросы своевременного обнаружения трещин, определения времени зарождения трещины и скорости роста [1].

В ходе проведённых исследований в АО НПО «ЦНИИТМАШ» было обнаружено, что на внутренней стороне трещины растут колонии кристалла магнетита [3]. Исходя из этого, появилась идея: в качестве индикаторов времени, прошедшего с момента образования трещины, использовать размеры кристаллов оксида железа, которые находятся в зависимости от времени развития трещины.

В данной работе рассматривается проблема оценки времени зарождения трещин в оборудовании АЭС. На основании аналитического обзора, посвящённого теме образования трещин в сталях [2], предложены и проведены испытания имитаторов трещин в агрессивных условиях, измерены электрохимические характеристики стали. На основе результатов испытаний построен график зависимости роста кристаллов магнетита от времени для условий эксплуатации холодного коллектора парогенератора ВВЭР-1000. Модель роста кристаллов магнетита, полученная в ходе проведённых исследований, соответствует примерам реальных разрушений в сварном шве. Полученная модель позволяет оценивать время зарождения трещины с точностью до одного месяца.

Литература

1. **Овчинников И.И.** Исследование поведения оболочечных конструкций, эксплуатирующихся в средах, вызывающих коррозионное растрескивание. Интернет-журнал «Науковедение», 2012. — № 4. — С. 1–30.
2. **Казанцев А.Г., Зубченко А.С., Харина И.Л.** Прогнозирование склонности стали 10ГН2МФА к замедленному деформационному коррозионному растрескиванию в высокотемпературной воде. Вестник МГТУ им. Носова Г.И., 2009. — № 1. — С. 58–64.
3. **Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А.** Физическая химия. — М.: Металлургия, 1963. — 243 с.

А.В. Аванов, асп.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСЛОВНОЙ ПЕРФОРАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОЛЩИНЫ ТРУБНОЙ ДОСКИ

В данном докладе приведен расчет напряженного состояния трубной доски теплообменника с использованием программного комплекса ANSYS Mechanical [1]. Трубная доска содержит перфорацию, через которую производится раздача теплоносителя по теплообменным трубам. В работе рассматривается механическая конструкция, состоящая из камеры теплоносителя, в свою очередь состоящий из обечайки и плоской крышки, и непосредственно трубной доски. Расчет производился для двух расчетных моделей, с реальной и условной перфорацией, задаваемой характеристиками материала трубной доски.

В работе производилась сравнительная оценка напряженного состояния перфорации трубной доски с реальной и условной перфорацией соответственно (диаметр отверстий 16 мм, шаг отверстий 22 мм). Были выполнены следующие виды расчетов: расчет по выбору основных размеров, поверочный расчет на статическую прочность и на потерю несущей способности. Расчетная оценка проводилась в соответствии с [2]. В результате расчета получено, что приведенные напряжения для двух расчетных схем в трубной доске и в галтели коррелируются с точностью в 10% для расчета на статическую прочность, а потеря несущей способности в задаче с упруго-пластической постановкой в схеме с условной перфорацией происходит при меньшем давлении. Таким образом, подтверждается допустимость применения условной перфорации при расчете толщины трубной доски.

Литература

1. Название программного средства: программный комплекс ANSYS Mechanical, версия 14.0. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 327 от 18.04.2013.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86).

И.А. Никитченко, асп.; рук. Ю.Б. Воробьев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО И СТАТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ РАСЧЕТА УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

При изготовлении оборудования АЭС могут иметь место ударные воздействия при различных операциях, связанных с перемещением деталей и заготовок, данные воздействия могут существенно повлиять на работоспособность и долговечность производимого оборудования для атомных электростанций.

В работе проводится исследование зависимости возникающих напряжений и остаточных деформаций при ударном воздействии детали от используемого метода расчета и сопоставление с допускаемыми напряжениями, в соответствии с [1]. Рассматриваются расчеты, проведенные статическим методом [3] и динамическим методом с использованием программного комплекса Ansys Mechanical [2]. Расчеты проводились в упруго-пластической постановке.

Статический метод основан на вычислении коэффициента динамичности и умножении на данный коэффициент получаемых напряжений от статической нагрузки, равной собственному весу детали [3]. Динамический метод основан на законе сохранения механической энергии, вычислении контактного взаимодействия и вычислении максимальных эквивалентных напряжений.

Проведенное сравнение позволяет определить различие в напряжениях и деформациях, а также понять допустимость использования каждого из методов в различных расчетных задачах.

После проведения расчетов выполнялся анализ напряженно-деформированного состояния и определение величины областей с пластическими деформациями, а также величины возникающих напряжений, с целью оценки прочности и повреждения исследуемой детали.

В работе показано, что статический метод дает большую величину напряжений, по сравнению с динамическим, таким образом, показывая более консервативный результат.

Литература

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. ANSYS Mechanical Theory Guide, Release 14.0, 2014, 491 p.
3. **Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.** Сопротивление материалов. М., Высшая школа, 2003. — 560 с.

Абди Хоссейн, асп.; рук. О.И. Мелихов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОПЕРЕЧНОГО ОБТЕКАНИЯ КОРИДОРНОГО ТРУБНОГО ПУЧКА ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ С ПОМОЩЬЮ КОДА STEG

Одним из ключевых явлений, определяющим движение пароводяной смеси в парогенераторе, является процесс поперечного обтекания трубного пучка пароводяной смеси, который оказывает большое влияние на характеристики парогенератора. Поэтому анализ и моделирование этого процесса, имеет особое значение. Код STEG предназначен для моделирования теплогидравлических процессов в горизонтальных парогенераторах. Математическая модель кода STEG основана на трехмерной нестационарной двухжидкостной модели пароводяной смеси. В этом коде полуэмпирические корреляции использовались для описания межфазного взаимодействия, а также взаимодействия каждой фазы с трубчаткой и стенками. Код STEG прошёл валидацию на результатах нескольких экспериментов, однако потребность в разработке и валидации кода остается актуальной.

В данной работе выполнены расчеты с использованием кода STEG для двухфазного адиабатического водо-воздушного течения сквозь коридорный трубный пучок с отношением шага к диаметру $P/D=1.3$. Проведено сравнение с результатами экспериментов [1]. В ходе этих экспериментов измерялись объемное паросодержание и перепад давления из-за трения. В расчетах для описания взаимодействия двухфазного потока с трубным пучком использовались два метода: 1) модель Локкарта-Мартинелли [1], 2) модель Колбасникова [2], в которых коэффициент сопротивления однофазного потока определялся на модели Идельчика [3].

Исследование показало, что полученное объемное паросодержание хорошо согласуется с результатами экспериментов Довлатти [1]. При моделировании перепада давления на трубном пучке модель Локкарта-Мартинелли дает лучшие результаты, чем модель Колбасникова.

Литература

1. **Dowlati, R., Kawaji, M., Chan, A.M.C.** Pitch-to-diameter effect on two-phase flow across an in-line tube bundle // *AIChE J.* 1990. Vol. 36, P. 765–772.
2. **Колбасников А.В., Шварц А.Л., Галецкий Н.С.** Исследование гидродинамики двухфазной среды в свободно погруженных поверхностях нагрева применительно к парогенераторам АЭС // *Теплоэнергетика.* 1992. № 4. 62–66.
3. **Идельчик, И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. Машиностроение, 1992. — 672 с: ил.

С.А. Токарев, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПЕРЕМЕШИВАНИЮ НА СТЕНДЕ СОУ

Для изучения процесса перемешивания теплоносителя и борного раствора, подаваемого в первый контур системой аварийного охлаждения зоны реактора (САОЗ), на кафедре АЭС НИУ «МЭИ» был создан опытный стенд «Смешение Опускной Участок» (СОУ) [1].

Стенд СОУ не эксплуатировался более пяти лет, была произведена ревизия оборудования и систем измерения [2]. С целью формирования программы будущих исследований был выполнен анализ выполненных ранее первых пусконаладочных экспериментов. В данной работе представлены результаты анализа эксперимента с подачей холодной воды из бака, имитирующего гидроемкость (ГЕ) САОЗ, в (17°C) в рабочий участок, имитирующий реактор с одной циркуляционной петлёй, в котором циркулирует горячая вода (65°C). Использовалась температурная методика измерения процесса перемешивания с использованием 100 термопар, расположенных в области подачи холодной воды. Было установлено, что примерно через 20 с на поверхности выгородки рабочего участка напротив патрубка подачи холодной воды формируется зона захлаживания, где температура на 15–20 К ниже начальной температуры. В пересчете на безразмерную температуру θ , характеризующую процесс перемешивания (1), это соответствует 0,6–0,7, что близко к типичным значениям этого параметра, возникающим при анализе подобных задач. Такое холодное пятно, радиусом около 200 мм, практически не меняясь, сохраняется до конца эксперимента (100 с).

$$\theta = (T - T_{\text{хол}}) / (T_{\text{гор}} - T_{\text{хол}}), \quad (1)$$

где T — температура термопары, $T_{\text{хол}}$ — температура холодной воды в баке ГЕ, $T_{\text{гор}}$ — температура горячей воды в рабочем участке.

В качестве недостатков проведения эксперимента отмечено не вполне удачное размещение термопар в объеме рабочего участка, не позволяющее измерять температуры в зоне над патрубком подачи холодной воды, а также недостаточная длительность эксперимента, которые в будущих исследованиях будут устранены.

Литература

1. **Мелихов В.И.** Исследование гидродинамики воды системы аварийного охлаждения активной зоны в опускном участке реактора ВВЭР: отчет о НИР (заключ.) // НИУ «МЭИ», Кафедра атомных электрических станций, 2013. — 123 с.
2. **Мелихов В.И., Токарев С.А.** Актуальные задачи исследования перемешивания теплоносителя на стенде СОУ // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать седьмая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Тез. докл., 2021. — 762 с.

*А.Р. Маров, Н.С. Волков, асп.; рук. П.А. Боков к.т.н., доц.,
Т.А. Бокова, к.т.н., доц. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)*

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПОДШИПНИКА В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОСИТЕЛЯ

Главные циркуляционные насосы (ГЦН) играют существенную роль в составе контуров энергетических установок. Одним из важнейших элементов насосов являются подшипниковые опоры. В случае погружных насосов со свободным уровнем теплоносителя это преимущественно гидростатические подшипники (ГСП).

Проектирование подшипниковых узлов, в том числе ГСП, для ГЦН реакторных установок с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) основывается на имеющемся опыте проектирования и эксплуатации подшипников насосов, перекачивающих водяной и натриевый теплоносители. Однако имеющиеся расчетные методики не учитывают специфики ТЖМТ (свинец, свинец-висмут), из-за чего требуют уточнения.

Автором проведен теоретический анализ известных методик расчета и сделан вывод о наибольшей пригодности методики Синева, Удовиченко [1] для дальнейшей корректировки по результатам проведения экспериментальных исследований. Так же автором определены эмпирические коэффициенты расчетных формул данной методики, требующие экспериментального определения для условий ТЖМТ. Спроектированы ГСП двух типов: постоянного и переменного дросселирования; экспериментальный стенд для их испытаний, а так же составлена программа-методика испытаний.

В лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ, при участии автора, будет проводится комплекс экспериментальных исследований, направленных на получение гидравлических характеристик подшипников и эмпирических коэффициентов.

Научная новизна настоящей работы состоит в том, что впервые в мире поставлены задачи по экспериментальной корректировке методики расчета ГСП для условий ТЖМТ.

Литература

1. **Синев Н.М., Удовиченко П.М.** Бессальниковые водяные насосы. М.: Атомиздат, 1972. — 494 с.: ил.

*Д.А. Румянцев, Б.А. Кучеров, И.А. Николаев, студ. (НИУ «МЭИ»);
Д.Е. Кудашова, студ. (ФУ, Москва);
рук. А.Е. Четвериков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭС МАЛЫХ МОЩНОСТЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Увеличение производства металлов (Cu, Ni, Pd) [1], производимых на заводах «Горно-металлургическая компания «Норникель», благодаря увеличению спроса на фоне «зелёного» тренда приведёт к увеличению выбросов CO₂ в атмосферу, что объясняется линейной корреляцией между объемами производства и выбросов. Ситуация усугубляется вечномерзлыми грунтами, постепенное таяние которых на фоне парникового эффекта приводит к высвобождению CO₂. Наиболее проблемным городом с точки зрения экологии является Норильск, причём последствия нагрева почвы можно увидеть уже сейчас (авария на ТЭЦ-3) [1].

Использование АСММ на объектах «Норникеля» в Норильске, согласно оценкам авторов, позволит сократить выбросы в атмосферу к 2030 г. на 30% (относительно аналогичного показателя в сценарии без АСММ) с учётом того, что в рамках сценария объём производства увеличится в 1,8 раза относительно показателей 2017 года.

Глобальными проблемами постройки и эксплуатации объекта являются: недостаточный уровень развития нормативно-правовой базы для АСММ [3], а также риск подвижки грунта [2], для управления которым авторы предлагают использовать дополнительные сваи с циркулирующим в них теплоносителем, необходимым для теплоотвода. Использование АСММ повысит социальный рейтинг компании, а также улучшит экологическую обстановку в городе, что позволит ускорить развитие региона за счёт сокращения оттока населения.

Литература

1. Годовой отчёт 2020 «Обеспечиваем движение к «зелёному» будущему» / ГМК «Норникель» 2020 — 385 с. https://ar2020.nornickel.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages_nornickel_2020.pdf
2. Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и окружающей среды № GSR Part 1. / МАГАТЭ, 2010 — 46 с. <http://www-ns.iaea.org/standards/>
3. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. / IAEA 2020 — 343 с. <http://aris.iaea.org>
4. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Revision 5). / МАГАТЭ 2012 — 69 с. <http://www-ns.iaea.org/standards/>

Н.Д. Урегани, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СМЕШЕНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ В ТРОЙНИКОВОМ СОЕДИНЕНИИ

Исследование смешения двух потоков жидкости с различными температурами в тройниковом соединении является сложной теплофизической проблемой и представляет большой практический и теоретический интерес. В [1] на основе экспериментальных данных, полученных в лаборатории Vattenfall (Швеция), сформулирована стандартная проблема (benchmark) по перемешиванию для анализа возможностей современных CFD кодов. Экспериментальная установка состояла из основной горизонтальной трубы внутренним диаметром 140 мм, по которой текла холодная вода. В данной работе для моделирования описанной выше стандартной проблемы использовался свободно распространяемый CFD код OpenFOAM [2], а для описания геометрии и создания расчетной сетки применялась графическая программа Salome [3]. Была создана расчетная сетка, состоящая из примерно 450000 узлов, для описания турбулентности использовалась k- ϵ -рs модель. На рис. 1, 2 показаны профили скорости в различных поперечных сечениях трубы. Получено хорошее совпадение результатов расчета и экспериментальных данных как для скорости, так и для температуры.

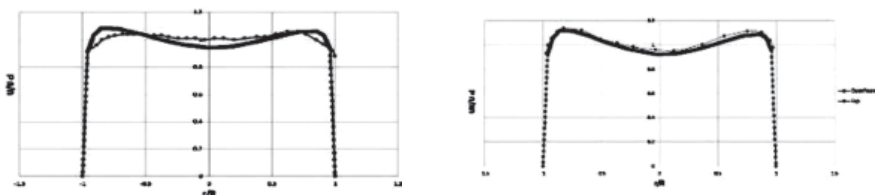


Рис. 1. Профили скорости в горизонтальном поперечном сечении в $x = 3.6 D2, 4.6 D2$

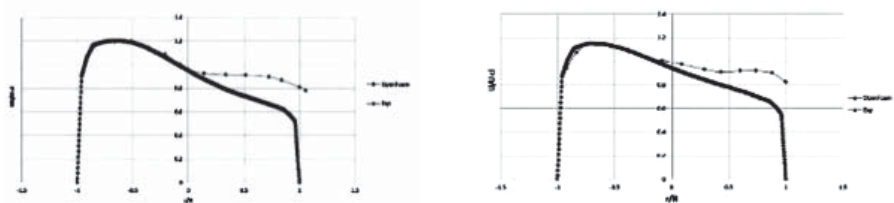


Рис. 2. Профили скорости в вертикальном поперечном сечении в $x = 3.6 D2, 4.6 D2$

Литература

1. **Smith B. L., Mahaffy J. H., Angele K., Westin J.** Report of the OECD/NEA Vattenfall T-junction benchmark exercise: Tech. Rep. / OECD/NEA. NEA/CSNI/R (2011)5. S. l., 2011.
2. **Open FOAM** — режим доступа www.openFoam.com.
3. **Salome** — режим доступа www.salome-platform.org.

Д.В. Кобец, студ.; рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ОПРЕСНИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ МОДУЛЬНОЙ МИНИ-АЭС

В настоящее время на земле растет потребность в пресной воде. Для регионов, обладающих запасом солоноватых вод, эту потребность могут закрыть малые модульные реакторы с опреснительной установкой. Благодаря наличию сопутствующего производства мини-АЭС перестает работать в экономически неэффективном режиме следования за нагрузкой.

В работе рассмотрены основные способы опреснения, которые подразделяются на 2 больших группы: тепловые и мембранные. К первой группе относятся: дистилляция, многоступенчатое вскипание и пароконденсационные процессы. Ко второй группе — обратный осмос и электродиализ [1].

Для мини-АЭС с опреснительным комплексом многоступенчатой дистилляции была построена технико-экономическая модель с использованием DEEP — программы экономической оценки опреснения МАГАТЭ [2]. Выполнен анализ работы когенерационной установки в условиях неравномерной потребности в электричестве в течение дня. Проведен экономический анализ нескольких режимов работы мини-АЭС: номинальный режим, режим следования за нагрузкой, когенерация при следовании за нагрузкой с двумя тарифами на воду.

Полученные данные показывают: опреснительные установки в сочетании с мини-АЭС способны сгладить суточный график нагрузки электрической сети и вывести работу реактора на оптимальный режим. Несмотря на дополнительные вложения, срок окупаемости остается в пределах 11–12 лет, а прибыль в разных режимах работы колеблется от 97 до 155 млн \$ в год при инвестициях 585 млн \$. Сопутствующее производство незначительно влияет на индекс доходности (DPI) и внутреннюю норму доходности (IRR), снижая их для дешевого (с 3,314 до 3,164 и с 14,525% до 14,008% соответственно) и повышая для дорогого тарифа (с 3,314 до 3,699 и с 14,525% до 15,806% соответственно).

Литература

1. Ghazaie S.H., Sadeghi K., Sokolova E.A., Fedorovich E.D. Comparative Analysis of Hybrid Desalination Technologies Powered by SMR // *Energies*. — 2020. — № 13(19).
2. IAEA. DEEP 5 User Manual [Электронный ресурс] // IAEA. 2013. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/08/deep5-manual.pdf> (дата обращения: 20.04.2021)

*Е.С. Сарычев, студ.; рук. Ю.Б. Шмельков, нач. лаб.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПЕРВОГО КОНТУРА АЭС НА ОСАЖДЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

Одной из важнейших задач при проектировании АЭС является обеспечение безопасности работников АЭС и прилегающих населенных пунктов.

В данной работе рассмотрен вопрос влияния геометрии главного циркуляционного контура на скорость осаждения продуктов деления. Были рассмотрены два эксперимента: FALCON ISP-1,2 [1] и АТТ-4 [2]. Данные эксперименты предназначены для изучения переноса ПД в условиях, имитирующих поведение РУ с водой под давлением во время тяжелой аварии. Эксперименты отличаются друг от друга геометрией рабочего участка, по которому подавался газ с продуктами деления. В экспериментах FALCON ISP-1,2 рабочий участок представлял собой прямую трубу, первые 100 мм которой имели диаметр 35 мм с последующим сужением до 25 мм диаметром и длиной узкого участка 380 мм. Расчетная схема эксперимента АТТ-4 имела 5 поворотов трубы и 3 расширения трубопровода.

Моделирование экспериментов выполнялось с помощью кода МАВР-ТА [3]. Расчетные результаты, полученные с помощью кода МАВР-ТА качественно соответствуют экспериментальным данным (рисунок 1).

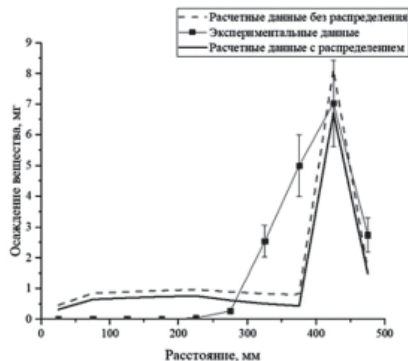


Рис. 1. Осаждение кадмия на стенках кремнеземной трубки на 3120 с. эксперимента FALCON

Литература

1. **Siccama N.B.** MELCOR 1.8.1 Assessments: FALCON ISP-34 ECN-R--94-009, The Netherlands Energy Research Foundation, Petten, 1994.
2. **Kmetyk L.N.** MELCOR 1.8.1 Assessments: Marviken-V Aerosol Transport Tests АТТ-2b/АТТ-4 SAND92-2243, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1993.
3. **Шмельков Ю.Б., Звонарев Ю.А., Петров Л.В., Шутов Н.В.** Разработка и верификация кода МАВР-ТА для моделирования выхода продуктов деления и их переноса под защитной оболочкой при тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР // Вестник атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. Выпуск 5. С. 92–104.

А.С. Никулин, студ.; рук. В.И. Мелихов, проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОЙ ЧИСЛЕННОЙ СХЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ

В ходе развития запроектной аварии возможно плавление активной зоны реактора с последующим взаимодействием кориума с теплоносителем реактора. Известно, что при определенных условиях этот контакт приводит паровому взрыву. Изучение паровых взрывов проводится давно, однако точной теории этого явления еще не создали. Данный факт связан со сложностью многофазных процессов, протекающих в ходе парового взрыва. [1].

Анализ многофазных процессов, подобных паровому взрыву, основан на использовании многоскоростной модели (multi-fluid model), в которой каждая фаза (вода, пар, струя расплава, крупные капли расплава, мелкие фрагменты расплава) описывается с помощью специального континуума [2]. Для каждой фазы выполняются уравнения сохранения массы, импульса и энергии с учетом межфазного взаимодействия. В настоящее время в расчетных кодах используются схемы, имеющие первый порядок точности как по пространству, так и по времени.

На первом этапе рассматривалась задача о распространении ударных волн в идеальном газе. Было выбрано несколько базовых схем решения, которые тестировались на аналитических решениях. Однако после серии тестов было принято решение отказаться от численной схемы Liles-Reed в пользу численной схемы Годунова.

На втором этапе решалась задача о распаде произвольного разрыва в идеальном газе. Данная задача о построении аналитического решения нестационарных уравнений механики сплошной среды в применении к распаду произвольного разрыва. Она часто возникает в широком круге задач механики сплошной среды, где в непрерывном потоке образуются разрывы, а также задач, где разрывы изначально имеют место в распределении физических параметров среды [3].

Затем эта численная схема была обобщена на случай распространения взрывных волн в пароводяной смеси, и в заключение рассмотрена полная модель парового взрыва.

Литература

1. **Гудеменко Д.В., Мелихов В.И., Мелихов О.И.** Исследование термической детонации на основе модели микровзаимодействий // Вестник МЭИ, 2017, № 2, С. 32–39.
2. **Нигматулин Р.И.** Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. С. 136.
3. **Годунов С.К.** Численные решения многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. С.401.

О.В. Яковлева, студ.; Ю.Б. Шмельков, к.т.н., нач. лаб.
(НИЦ «Курчатовский институт»)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РОСТА И ОСАЖДЕНИЯ ГИГРОСКОПИЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

Одной из задач обоснования безопасности работы АЭС является анализ возможных сценариев тяжелых запроектных аварий с точки зрения выхода радиоактивных продуктов деления (ПД) в окружающую среду. Одним из важных факторов, влияющих на величину выброса, является эволюция размера частиц аэрозолей в зависимости от времени, при этом, в случае наличия в атмосфере защитной оболочки значительного количества водяного пара, существенную роль играет гигроскопичность. Размер частиц изменяется за счет коагуляции и конденсации пара воды на частицах.

Целью работы является моделирование осаждения аэрозолей продуктов деления в защитной оболочке за счет седиментации, усиленной гигроскопическим ростом частиц, с помощью расчетного кода МАВР-ТА и валидация полученных результатов на эксперименте АНМЕД [1]. Были выполнены расчеты осаждения аэрозолей каждого вещества кодом МАВР-ТА. Результаты получены в виде зависимости массовой концентрации в атмосфере сосуда от времени и представлены на рис. 1. Результаты расчетов адекватно воспроизводят осаждение аэрозолей. Полидисперсный аэрозоль осаждается хуже монодисперсного из-за преобладания доли частиц с меньшим размером, которые менее подвержены гигроскопическому росту.

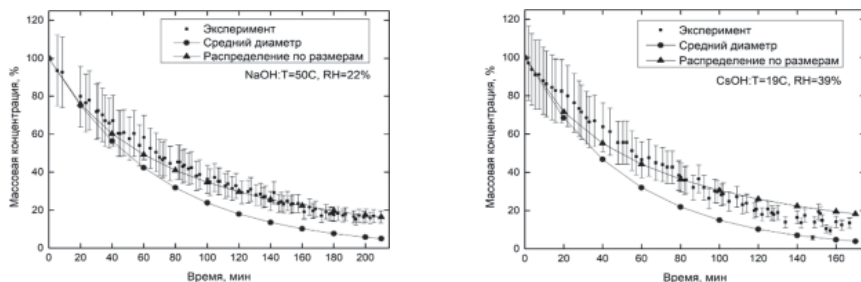


Рис. 1. Сравнение экспериментальных данных АНМЕД и расчетов кода МАВР-ТА

Литература

1. Mäkyinen J.M., Jokiniemi J.K., Ahonen P.P., Kauppinen E.I., Zilliacus R. AHMED experiments on hygroscopic and inert aerosol behaviour in LWR containment conditions: experimental results // Nuclear Engineering and Design. 1997. V. 178. P. 45–59.

В.А. Рябова, студ.; рук. К.Н. Проскураков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА ЯЗЫКЕ FORTRAN ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ АЭС С ВВЭР

Первый контур АЭС можно представить, как последовательное соединение акустических элементов, которые являются колебательными контурами с сосредоточенными параметрами.

В данной работе представлена программа, прогнозирующая акустическое поле парогенератора для АЭС с ВВЭР. Цифровая акустическая модель ПГ состоит из трёх резонаторов. Резонатор 1 образован объемами горячей нитки и горячего коллектора, обладающими акустической массой m_1 и присоединенными к ним трубами поверхности теплообмена, имеющими акустическую массу m .

Резонатор 2 образован объемом холодной нитки и холодного коллектора с суммарной массой m_2 и присоединенными к ним трубами поверхности теплообмена, имеющими акустическую массу m . Резонатор 3 объединяет эти резонаторы в колебательную систему, механическим аналогом которой является груз массой m с пружинами, прикрепленными к жесткой границе и обладающими массами m_1 и m_2 .

Электрическим аналогом этих резонаторов является последовательное соединение емкостей и индуктивностей.

Разработана программа на языке программирования FORTRAN, позволяющая быстро и точно рассчитать акустическое поле парогенератора, с возможностью вариантов расчётов по температуре теплоносителя в ПГ. Программа позволяет не только прогнозировать акустическое поле в номинальном режиме работы парогенератора, но и в переходных режимах, например при пуске реактора или его останове. Тестирование программы проводилось по расчётам двух парогенераторов: ПГВ-440 и ПГВ-1000, при температуре варьирующейся от 100°C до 320°C с шагом 10°C.

Результаты тестирования показали, что программа работает стабильно, даёт результаты, соответствующие проведённым ранее исследованиям и расчётам. Также важным её показателем является простота в использовании программы.

Литература

1. **Проскураков К.Н.** Теплогидравлическое возбуждение колебаний теплоносителя во внутрикорпусных устройствах ЯЭУ. Москва, МЭИ, — 67 с.
2. **Проскураков К.Н.** Ядерные энергетические установки. Издательство: М.: МЭИ 2015. — 446 с.

О.И. Коновалов, асп.; рук. В.И. Мелихов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЛАПСА ПАРОВОГО ПУЗЫРЬКА НА ПОВЕРХНОСТЬ РАСПЛАВА

Одним из неблагоприятных исходов при развитии тяжелой аварии на АЭС может стать паровой взрыв (ПВ) при контакте металлического расплава с водой. Возможны два сценария: 1) подача расплава в виде струи в воду; 2) подача воды на поверхность расплава, т.е. расплав затоплен водой. В данной работе уделено внимание второму сценарию.

Ранее считалось [1], что возникновение мощного ПВ в стратифицированной конфигурации невозможно, так как зона перемешивания расплава с водой незначительна. В статье [2] представлены эксперименты, в которых мощный ПВ наблюдался. Один из возможных механизмов, обеспечивающих хорошее перемешивание — коллапс пузырьков вблизи твердой поверхности. При коллапсе генерируются кумулятивные струйки жидкости, которые бьют по поверхности расплава.

Была сформулирована система дифференциальных уравнений Лапласа и Бернулли для исследования схлопывания одиночных пузырьков вблизи твердой границы. Анализ проводился численно с помощью метода граничных элементов (МГЭ) [3].

Были проведены расчеты на различных расстояниях пузырька от расплава. Получены импульс, энергия струи и поля распределения потенциала при коллапсе пузырька.

В результате расчетов показано, что энергии кумулятивных струек достаточно, чтобы подбросить на 17 см капли расплава радиусом 1 мм. Таким образом, в стратифицированной конфигурации кориум-вода паровой взрыв возможен, так как коллапс пузырьков у поверхности расплава приводит к увеличению зоны перемешивания.

Литература

1. **Harlow F. H., Rappel H. M.** Propagation of a liquid-liquid explosion. Los Alamos National Laboratory Report LA-8971-MS UC-34. 1981 — p. 6.
2. **Pavel Kudinov, Dmitry Grishchenko, Alexander Konovalenko, Aram Karbojian.** Premixing and steam explosion phenomena in the tests with stratified melt-coolant configuration and binary oxidic melt simulant materials. Nuclear Engineering and Design 314 p. 182–197. April 2017.
3. **Bachok Bin Taib.** Boundary integral method applied to cavitation bubble dynamics. University of Wollongong. 1985. — p. 7.

Е.П. Семёнова, И.К. Курников, студ.;
рук. М.М. Каверзнев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ АЭС

Тепловое аккумулирование является одним из способов уменьшить необходимую мощность электрической станции в энергосистеме, повысить эффективность работы электростанции. Важным для АЭС преимуществом возможность сохранить базовый режим работы реакторной установки (РУ) при маневренном режиме работы энергоблока.

Для энергоблока ВВЭР-1200 были рассмотрены тепловые схемы с системой аккумулирования тепловой энергии (САТЭ) на основе высокотемпературного теплоносителя (ВТТ) для следующих режимов: зарядки теплового аккумулятора (ТА) — 1–4 ступенчатые схемы зарядки [1]; разрядки аккумулятора (ТА) — схема с заменой регенеративных подогревателей (РП) и схема с включением в тракт сепаратора-пароперегревателя (СПП) [3].

Для энергоблока БН-800 были рассмотрены 4 варианта схем включения САТЭ: с использованием электротеплоаккумулятора (ЭТА); с включением в тракт СПП; с замещением РП; с включением в промежуточный контур (схема Natrium, США) [2].

Для ВВЭР анализ показал заметный рост КПД аккумулирования при переходе от одно — к двухступенчатой схеме зарядки (с 70.7 до 84.9%) и незначительный прирост КПД при дальнейшем увеличении числа ступеней.

Для РУ типа БН схема с ЭТТ оказалась неэффективной (КПД менее 20%). Для других вариантов САТЭ КПД составил порядка 80%, однако имеется ограничение применимости по температуре ВТТ (350°C) (требуются более термостойкие аккумулирующие среды, например, расплавы солей). Схема Natrium исходно предусматривает применение расплава солей во 2 контуре, не имеет ограничений по температуре и позволяет создать пиковый энергоблок, в котором тепловая мощность турбины больше мощности РУ.

Литература

1. **Араютян В.Б.** Расчетное исследование вариантов многоступенчатой схемы зарядки САТЭ в составе энергоблока ВВЭР-1200, Магистерская диссертация, М.: МЭИ, 2019 г. — 114 с.
2. Natrium: Providing flexible clean energy at a competitive cost. — Natrium (natriumpower.com)
3. **Абросимова Н.И.** Оптимизация параметров и режимов работы энергоблока АЭС+САТЭ. Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук — МЭИ, 2016 г. — 222 с.

М.В. Манухин, студ.; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ОТКАЗЫ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК И ПРИВОДОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АЭС С ВВЭР И РWR

Проблема обеспечения надежности тепловыделяющих сборок (ТВС) и приводов систем управления и защиты (СУЗ) актуальна для АЭС с легководяными реакторами с водой под давлением. Главной причиной повреждения ТВС является фреттинг-коррозия, при которой интенсивность износа оболочки ТВЭЛ возрастает при виброакустическом резонансе [1]. В [2] для определения частотных характеристик корпуса привода ШЭМ-3 разработана его математическая модель и обоснована необходимость расширить до 300 Гц диапазон частот вибраций чехлов привода СУЗ, влияющих на обеспечение их вибростойкости.

Расчёт частот акустических стоячих волн, генерируемых в реакторной установке проведен по методу [1]. Показано, что в номинальном режиме работы реактора ВВЭР-1000 генерация автоколебаний теплоносителя с частотой 300 Гц происходит на входе в активную зону и приводит к возникновению виброакустического резонанса с корпусом привода ШЭМ-3, что может привести к сокращению срока его службы.

Благодаря использованию данного метода появляется возможность определения акустического поля реактора при любой температуре теплоносителя и выявления условий возникновения виброакустических резонансов теплоносителя с ТВС и приводами СУЗ. Также данный метод позволяет прогнозировать акустическое поле практически во всех эксплуатационных и аварийных режимах для существующих и проектируемых объектов ядерных реакторов с водяным теплоносителем.

Литература

1. **Проскуряков К.Н.** Ядерные энергетические установки. Изд-во МЭИ. 2015 г. — 446 с.
2. **Хайретдинов В.У., Саратов А.Ю., Вахрушев П.А.** Виброисследование приводов СУЗ реакторной установки ВВЭР-1000. 9-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Секция 2: Вопросы обоснования проектно-технических решений и экспериментальной поддержки при проектировании и вводе в эксплуатацию АЭС, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск, Россия. 2015.

Е.Э. Лукоянов, студ.; рук. К.Н. Проскураков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ НА ЯЗЫКЕ FORTRAN ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ РЕАКТОРА ВВЭР

В данной работе была разработана программа на языке Fortran для прогнозирования акустических характеристик реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 по цифровой акустической модели ядерного реактора, позволяющей идентифицировать источники самовозбуждающихся акустических стоячих волн [1].

Прогнозирование спектра частот акустических волн для ВВЭР-440 проведено при давлении $P=12,278$ МПа и значениях температуры $t=280^{\circ}\text{C}$, 250°C , 220°C , 190°C , 150°C . Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты акустических волн равняются 18,9 Гц, 20,6 Гц, 21,7 Гц, 22,5 Гц, 23 Гц соответственно. Результаты прогноза близки к данным измерений на АЭС с ВВЭР-440 [2].

Прогнозирование спектра частот акустических волн для ВВЭР-1000 проведено при давлении $P=16$ МПа и значениях температуры $t=305^{\circ}\text{C}$, 290°C , 250°C , 200°C , 150°C . Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты акустических волн равняются 8,8 Гц, 9,4 Гц, 10,5 Гц, 11,3 Гц, 11,7 Гц соответственно. Результаты прогноза близки к данным измерений на АЭС с ВВЭР-1000 [2].

При проектировании АЭС с ВВЭР необходимо исключить возможность возникновения виброакустических резонансов, чтобы предотвратить преждевременный выход оборудования из строя и в последующем возможную аварию, а для этого необходимо прогнозировать значения собственных частот колебаний теплоносителя, в различных условиях эксплуатации и в аварийных режимах.

Литература

1. **Проскураков К.Н., Анিকেев А.В., Афшар И.** Компьютерное моделирование акустических стоячих волн в теплоносителе атомных электростанций 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1421 012041.
2. **Проскураков К.Н., Анিকেев А.В., Афшар И., Белова С.К., Писарева Д.А.** Прогнозирование виброакустических резонансов в активных зонах атомных электрических станций с водо-водяным энергетическим реактором // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 39–49. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-39-49.

И.С. Кузнецов, студ.; рук. К.Н. Проскуряков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЁТА ЧАСТОТ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ В КОНТУРЕ АЭС С ВВЭР-1200, СОСТОЯЩЕМ ИЗ ОПУСКНОГО УЧАСТКА И ТРУБОПРОВОДОВ, СОЕДИНЯЮЩИХ ЕГО С ГЦН

Для расчёта частоты волн давления, генерируемых в петле АЭС с ВВЭР-1200, применен метод электроакустических аналогий [1, 2].

Петля АЭС представляется как последовательное соединение акустических элементов. А сами акустические элементы являются колебательными контурами: опускной участок реактора и трубопровод, следующий от ГЦН до опускного участка, далее именуется как «холодная нитка». Показано, что акустическая модель петли состоит из колебательных контуров с сосредоточенными параметрами. В работе были приняты допущения, что опускной участок имеет только вертикальную составляющую, т.е. не учитывается эллиптический участок и проходное сечение опускного участка равно его среднему сечению по высоте.

Проведены расчеты колебаний теплоносителя в различных режимах как для опускного участка и «холодной нитки», так и для комбинации этих акустических контуров. Результаты расчётов показывают, что при заданных теплофизических параметрах теплоносителя частоты генерируемые контурами в комбинации, находятся в диапазоне от 3,4 до 4,1 Гц. Был проведен анализ полученных результатов и выявлены зависимости изменения частот акустических волн от теплогидравлических параметров теплоносителя.

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. **Проскуряков К.Н.** Использование виброакустических шумов для диагностики технологических процессов в АЭС. М.: МЭИ, 1999. — 66 с.
2. **Тихонов А.Н., Самарский А.А.** Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. — 735 с.

*М.А. Чубаров, студ.; М.В. Конюшин, соиск.;
рук. А.А. Калютник, к.т.н., доц. (СПбПУ, Санкт-Петербург)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-СКД

В данной работе предлагаются конструкции ТВС для инновационного реактора ВВЭР-СКД, вошедшего в список реакторных концепций, определенных на Международном форуме поколения IV [1].

19.11.2021 на официальном сайте ГК «Росатом» был опубликован план работ до 2026 года, включающий подготовку проектно-технологических решений для моделирования реактора ВВЭР-СКД, позволяющего выжигать радиоактивные отходы и воспроизводить топливо. В данной работе с помощью расчетных кодов программной среды MCU-FREE, использующей метод Монте-Карло, было смоделировано две конструкции ТВС для активной зоны при двухходовом движении теплоносителя (первая зона: тепло-резонансный спектр нейтронов и вторая зона: быстро-резонансный спектр нейтронов). В первой зоне рассматривалось выжигание Тс-99 или возможность производства Со-60. Во второй зоне рассматривалось выжигание Ам-241 и Ам-243 [2]. Результаты моделирования за кампанию реактора (1500 эффективных суток) представлены в таблице 1. ТВС для двух зон представлены на рисунке 1.

Таблица 1. Результаты моделирования

| Производство Со-60 на 1 ТВС | Выгорание Тс-99 | Выгорание Ам-241/243 | КВ | $\beta_{эф}$ |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------|------|--------------|
| 86,8 гр/год | 21,4% | 24,6% | 1,02 | 0,00578 |

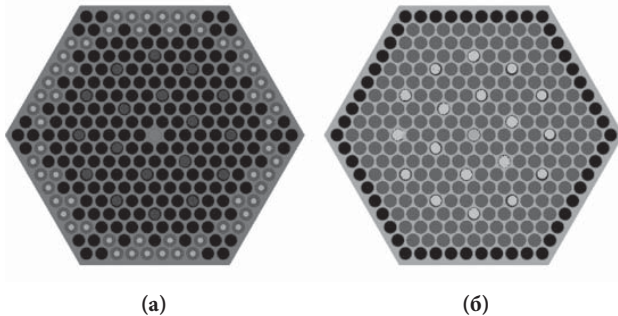


Рис. 1. ТВС для первой зоны (а) и второй зоны (б)

Литература

1. Kamide H. Annual GIF Report // The Generation IV International Forum, 2020.
2. Окунев В.С. Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов, М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 534 с.

*Г.А. Игнатьева, асп. (СВФУ, Якутск); рук. В.Е. Степанов (Уртуус),
д. ф. -м.н., доц. (ИКФИА СО РАН, Якутск)*

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СКРЫТОЙ ЭНЕРГИИ РАСПАДА РАДОНА В ЖИДКОСТЯХ

В радиационно-гигиеническом аспекте повреждения живой клетке наносят короткоживущие продукты распада радона с пятью альфа и двумя бета-распадами, порождая центры образования злокачественных опухолей. Их активность условно называется «скрытой энергией распада радона» и применяется в радиационной гигиене для расчета дозовых нагрузок на человека [1].

С другой стороны, Пьер Кюри с сотрудниками калориметрическими измерениями установили, что при альфа-распаде радия выделяется мощность в 105 Дж/ч, а при последующих распадах дочерних элементов — 485 Дж/ч. [2]. Широко известны радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), которые обеспечивали многолетнюю автономную работу метеостанций в Арктике. Для новых версий РИТЭГ-ов было бы актуально использовать радиевые усилители мощности. «Скрытая энергия распада радона» позволяет теоретически рассчитать вклад от трех альфа- и двух бета-распадов короткоживущих продуктов распада, определяющих мощность радонового стимулятора для РИТЭГ.

Предложена методика измерения «скрытой энергии распада радона» в жидкости методом жидкостной сцинтилляционной альфа-бета-спектрометрии. Навеска урановой руды с известной массой настаивалась в герметичном сосуде с дистиллированной водой в течение 260 суток для достижения векового равновесия. Вода с растворенным в ней радоном и его пятью продуктами распада сливается, раствор смешивается со сцинтиллятором по стандартной методике и измеряется на жидкостном сцинтилляционном спектрометре Hidex SL-300. В эксперименте полная начальная альфа-бета-активность раствора после вычета фона оказалась равной 1640,1 Бк/л. Далее вычисляем по экспоненциальному закону распада радона его активность, вычитанием его значений из измеренных полных альфа-бета-активностей. получаем скрытую энергию. Экспериментально измеренная «скрытая энергия распада радона» позволяет рассчитать энергетический вклад радона в мощность РИТЭГ с радиевым стимулятором.

Литература

1. **Зуевич Ф.И., и др.** Радиационно-гигиенические проблемы влияния радона на состоянии здоровья населения. Типография «Полиграф-Ателье», 2011. — 244 с.
2. **Бекман И.Н.** Радий, учебное пособие. Москва, 2010. — 142 с. — <http://profbeckman.narod.ru>

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

*П.Д. Бросин, студ.; рук. В.В. Кузенов, д.ф.-м.н., проф.;
рук. С.В. Рыжков, д.ф.-м.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНЫХ СТРУЙ СИЛЬНОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА

Выполнена разработка и проведено численное исследование плазмы сильно-точного поверхностного разряда на основе разработанной многомерной математической модели. Проведено моделирование радиационно-плазмодинамических процессов в направлении, перпендикулярном поверхности диэлектрической вставки отражает основные физические особенности линейно-стабилизированного поверхностного разряда (ЛСПР), как поверхностного разряда, осуществляемого в условиях ограничения расширения плазменного образования газовой средой, магнитным полем и твердой поверхностью межэлектродной вставки [1–8]. Изучены особенности формирования УФ-спектра излучения. Установлено, что интенсивность УФ излучения, генерируемого паровым слоем в общем световом потоке, выходящем с ударно-волновой границы разряда максимальна во взрывном режиме. Произведено сопоставление результатов расчетов с известными и имеющимися экспериментальными данными. Отмечено их удовлетворительное соответствие.

Литература

1. **Кузенов В.В.** Математическое моделирование импульсных радиационно-магнитогазодинамических систем: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Москва, 2018. 372 с.
2. **Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V.** // Symmetry. 2021. V. 13 (6). P. 927.
3. **Кузенов В.В., Рыжков С.В.** // ТВТ. 2021. Т. 59, № 4. С. 492–501.
4. **Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V.** // Physics of Plasmas. 2019. V. 26. P. 092704.
5. **Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V.** // Computational Thermal Sciences. 2021. V. 13. P. 45–56.
6. **Ryzhkov S.V., Chirkov A.Yu.** Alternative Fusion Fuels and Systems (CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019). 200 p.
7. **Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V.** // Laser Physics. 2019. V. 29. 096001.
8. **Клименко Г.К., Кузенов В.В., Ляпин А.А., Рыжков С.В.** Учебник: Расчет, моделирование и проектирование генераторов низкотемпературной плазмы. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 264 с.

Т.А. Анфимова^{1, 2}, асп.; рук. А.В. Голубева², к.ф.-м.н.
(¹ – РХТУ им. Д.И. Менделеева, ² – НИЦ Курчатовский институт)

ИЗОТОПНЫЙ ЭФФЕКТ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВОДОРОДА С МАТЕРИАЛАМИ ТЯР

Одним из ключевых вопросов термоядерной энергетики является выбор материалов для термоядерного реактора в соответствии с жесткими условиями их эксплуатации и требованиями безопасности. К важным критериям выбора материалов, обращенных к плазме, а также конструкционных материалов, не обращенных непосредственно к плазме, относятся предсказуемые и благоприятные характеристики взаимодействия с изотопами водорода. Воздействие интенсивных потоков изотопов водорода на материалы первой стенки реактора и конструкционные материалы будет приводить к захвату дейтерия и трития в этих материалах. Высокая значимость исследований накопления изотопов водорода в материалах обусловлена в первую очередь экономическими соображениями и безопасностью. В случае возникновения аварийной ситуации высок риск выделения изотопов водорода из материалов. Поэтому необходимо контролировать и насколько возможно снизить накопление радиоактивного трития в реакторных материалах. Также учет трития имеет особое значение для организации топливного цикла термоядерного реактора.

Изотопный эффект проявляется в отличии параметров взаимодействия протия, дейтерия и трития с материалами. Характеристики взаимодействия изотопов водорода с материалами чаще всего определяют в экспериментах с дейтерием и протием. Понимание механизмов удержания водорода в материалах и изучение изотопного эффекта позволят предсказать параметры взаимодействия трития с материалами на основании данных, полученных с более лёгкими изотопами водорода, а также оценить возможность эффективной детритизации материалов путем изотопного обмена.

Целью данной работы является суммирование и анализ имеющихся данных по изотопному эффекту при взаимодействии изотопов водорода с обращёнными к плазме и конструкционными материалами ТЯР.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ от 29.09.2020 № 1953).

*В.А. Ячук, асп.; Д.С. Лукьянцев асп.;
рук. А.В. Лубенченко, проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАССЕЙНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

Данная работа посвящена моделированию рентгеновских фотоэлектронных спектров.

Основная цель данной работы — это создание алгоритма, который способен адекватно моделировать спектры энергетических потерь. Максимально возможно ускорить расчеты с помощью него. А также включение в метод прямо вперед учет влияния внутренних потерь энергии. В данном алгоритме был применен метод локальной оценки Монте-Карло, что является новым подходом в решении данной задачи [1]. Также мы получаем вместе с этим еще несколько не менее, а то и более важных целей: решение задач многократного неупругого рассеяния; моделирование процесса рассеяния фотоэлектронов в неоднородной среде с помощью локальной оценки Монте-Карло. Чтобы смоделировать реальный процесс необходимо учитывать большое количество его физических особенностей, поэтому моделирование является не простой задачей. Также в алгоритм включен учет таких каналов потерь энергии, как внутренние и внешние.

Для моделирования спектра энергетических потерь от РФЭС [2] необходимо учитывать, что: 1. Вероятность рентгеновского фотона рассеяться в различных слоях разная. 2. Характеристики рассеяния как упругого, так и неупругого, отличны друг от друга в разных элементах. 3. Отличие рассеивающих свойств оксида ниобия на поверхности от оксида в объеме. 4. Есть спин-орбитальное взаимодействие, вследствие которого возникает дублетность пиков. 5. Движение частицы в различных слоях. Все эти особенности учитываются в разработанном алгоритме. Однако моделирование в наше время невозможно без ряда упрощений. Необходимо учесть, что количество рассеяний в определенном слое вносит свой вклад в формирование индикатрисы рассеяния.

В результате был разработан ускоренный алгоритм, использующий метод локальной оценки. Также было улучшен алгоритм с применением метода «прямо вперед». Все расчеты сравнены с экспериментами.

Литература

1. **Jablonski A.** Elastic photoelectron scattering effects in the XPS analysis of stratified samples // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2012. — Т. 45. — № 31. — С. 315302.
2. **Lubenchenko A.V.** et al. XPS study of multilayer multicomponent films // Applied Surface Science. — 2018. — Т. 427. — С. 711–721.

Р. Идеал, студ.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЁТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА

В энергетике наиболее перспективным типом установки, предназначенной для получения и удержания горячей плазмы, является на данный момент токамак (тороидальная магнитная ловушка). 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].

Одним из основных параметров плазмы является электронная температура. Назначение диагностики «Многоканальный рентгеновский спектрометр» состоит в измерении пространственно-временной картины электронной температуры по спектру тормозного и рекомбинационного излучения плазмы в области мягкого рентгена. Знание температуры электронов необходимо для решения многих научных и технических задач в области управляемого термоядерного синтеза, а также для оптимальной и безопасной работы токамаков и термоядерных реакторов. Рентгеновская диагностика помогает контролировать стабильность работы установки и проводить на ней успешные исследования.

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 рассчитан поток рентгеновского излучения из плазмы токамака Т-10 и проведено его сравнение с данными эксперимента, аналогично рассчитан оценочный поток рентгеновского излучения из плазмы токамака Т-15МД по модельным профилям температуры и плотности [2], выполнена калибровка детектирующего устройства. Из сравнения расчётных и экспериментальных данных определена зависимость поглощения рентгеновского излучения в детекторе (спектральная чувствительность детектора) от энергии регистрируемого излучения.

Литература

1. **Стрелков В.С.** Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке: учебное пособие. М.: МИФИ, 2004.
2. **Н.А. Кирнева, А.А. Мартынов, Ю.Д. Павлов [и др.]** Эмпирическая формула для профиля электронной температуры плазмы в омическом режиме в токамаке Т-10 // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2014. Т. 37. № 1.

А.П. Персианова, студ.;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ РФЭС ДЛЯ ОКСИД-МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) — один из самых распространённых методов анализа поверхности [1]. Спектры РФЭС несут информацию о структуре мишени, её послойном составе. Чтобы расшифровать эту информацию, необходимо правильно интерпретировать получаемые спектры. Одним из методов интерпретации является компьютерное моделирование энергетических спектров.

Целью данной работы является создание алгоритма расчёта энергетического спектра РФЭС для неоднородных оксид-металлических мишеней прямым методом Монте-Карло.

При моделировании было учтено конкретные факторы имитируемой среды: многослойность мишени, её неоднородность, реальные сечения упругого рассеяния, модельные сечения неупругого рассеяния [2], поверхностные и объёмные потери энергии, сечение рождения электрона. В самом алгоритме для ускорения вычислений используется метод банка случайных величин и расчёт частиц пачками.

В результате был получен спектр энергетических потерь от многослойной оксид-металлической мишени $\text{Nb-Nb}_2\text{O}_5$ (рис. 1), а также было проведено сравнение полученного спектра с реальным спектром от окисленных ниобиевых мишеней.

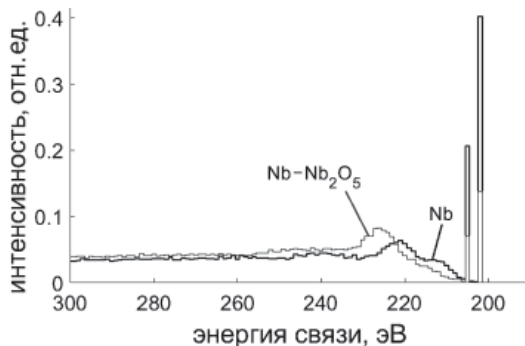


Рис. 1. Смоделированные спектры Nb и $\text{Nb-Nb}_2\text{O}_5$

Литература

1. **Фелдман Л., Майер Д.** Основы анализа поверхности и тонких пленок. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
2. **Lubchenko A. V. et al.** XPS study of multilayer multicomponent films // Applied Surface Science. 2018. Т. 427.

*Н.О. Степанов, студ.; рук. Д.И. Черкез, к.н.ф-м.н.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

ВЛИЯНИЕ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТРАНСПОРТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В СТАЛИ ЧС-68

Управляемый термоядерный синтез (УТС) — вероятный кандидат в источники энергии будущего. В качестве топлива планируется использовать смесь изотопов водорода (ИВ) — дейтерий и радиоактивный тритий. Во время работы термоядерного реактора (ТЯР) протекают разнообразные процессы, связанные с взаимодействием ИВ в виде газа и плазмы с конструкционными материалами (КМ): внедрение, отражение, захват в КМ, а также утечки ИВ через КМ в теплоносители. В качестве перспективных КМ для ТЯР, рассматриваются: ферритно-мартенситные и аустенитные стали, сплавы ванадия и материалы на основе карбида кремния. Радиационная безопасность и экономическая целесообразность ТЯР накладывают ряд ограничений на применение КМ и обуславливает необходимость исследований посвященных различным аспектам взаимодействия ИВ с КМ.

Одним из ключевых измеряемых параметров в экспериментах по взаимодействию ИВ с материалами, оказывающих существенное влияние на кинетику процессов, является температура, ввиду, зачастую, аррениусовской природы подобных процессов. Ранее в НИЦ «Курчатовский институт» на стенде «ПИМ» [1] в экспериментах по проникновению дейтерия через аустенитную сталь 06X16H15M2Г2ТФР (ЧС-68) определялись основные транспортные параметры дейтерия — константа проницаемости и коэффициент диффузии. В ходе проведения эксперимента наблюдался существенный перепад температуры по длине трубки, обусловленный геометрией образца, держателя и электрического контакта.

Представленная работа посвящена численному моделированию профиля температуры по трубке, выполненной из реакторной стали ЧС-68, с целью определения его влияния на транспортные параметры водорода в этой стали, и уточнения оценённых ранее коэффициентов диффузии, проницаемости и растворимости.

Литература

1. **Д.И. Черкез.** Исследование проникновения изотопов водорода через низкоактивные материалы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Москва 2018 г.

*Я.С. Молочаев, студ.; рук. А.В. Голубева, к.ф.-м.н
(НИЦ «Курчатовский институт, Москва)*

ГРАФИТ КАК ОБРАЩЕННЫЙ К ПЛАЗМЕ МАТЕРИАЛ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Графит — один из самых термостойких из существующих на земле материалов. Он широко использовался в термоядерных установках (ТЯР) как обращенный к плазме материал (ОПМ).

В 1990–2005 годах взаимодействие водорода с материалами на основе графита исследовалось весьма интенсивно. Затем интерес к графиту как ОПМ значительно снизился, в первую очередь из-за высокого накопления водорода в токамаках где он использовался. В дальнейшем, самым перспективным материалом считался вольфрам. Однако у вольфрама как ОПМ также есть существенный недостаток — повышение температуры перехода из хрупкого в пластичное состояние (DBTT) под действием нейтронного облучения. Термомеханические свойства вольфрама пытались улучшить путём легирования и термомеханической обработки, однако до сих пор устойчивая пластичность при комнатной температуре под нейтронным облучением достигнута не была. В этой связи полного отказа от использования в ТЯР материалов на основе углерода не произошло. В строящейся установке Т-15 МД графит будет использован для облицовки внутренней поверхности камеры.

Целью данной работы является обобщение информации по графиту как материалу ТЯР.

В работе обсуждаются аспекты взаимодействия водорода с углеродными материалами, включая перенос водорода через графитовые материалы, химическое распыление, совместное осаждение изотопов водорода в составе углеводородных плёнок. Рассмотрены особенности и проблемы эксплуатации графита в токамаках.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт», приказ № 1934а.

В.В. Толмачёв, студ.; рук. А.Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРГИРОВАННОГО ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Охлаждение диспергированным потоком теплоносителя является наиболее перспективным методом охлаждения ввиду низких затрат теплоносителя при высокой плотности теплового потока, снимаемого с охлаждаемой поверхности. Основными параметрами, влияющими на эффективность данного способа, являются средний размер капель и их скорость перед столкновением с охлаждаемым участком. Целью данной работы является создание физико-математической модели, которая позволит рассчитывать распределение диспергированного потока по размерам и скоростям капель в зависимости от расстояния от сопла форсунки. Модель учитывает как явление коагуляции капель, так и их дробления в ходе движения.

В качестве сравнительной базы использовались экспериментальные данные, полученные интерферометрическим методом измерения размеров капель IPI. В результате была получена эмпирическая формула, позволяющая определить распределение капель по размерам в зависимости от давления и массового расхода в форсунке:

$$\varphi(r, p, G) = \alpha \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} g}{\sigma}} e^{\beta \frac{r}{r_*}} \left(\frac{p}{p_*}\right)^{n_1} \left(\frac{G}{G_*}\right)^{n_2},$$

где α, β, n_1, n_2 — эмпирические коэффициенты, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность теплоносителя, g — ускорение свободного падения, σ — коэффициент поверхностного натяжения, p — давление в форсунке, G — массовый расход теплоносителя, p_* — базовое давление, G_* — базовый массовый расход, r_* — радиус, на который приходится максимум распределения.

Коагуляция капель происходит при столкновении капель разных групп, имеющих различную скорость. В результате концентрация капель меньшего размера значительно уменьшается, однако одновременно с этим происходит дробление более крупных капель, скорость которых превышает критическую для капель данного размера. Коэффициент коагуляции капель i -ой и j -ой фракций рассчитывается по формуле:

$$k_{ij} = \frac{\pi(r_j + r_i)^2}{\Delta V_{\phi}} (\omega_j - \omega_i) = \frac{\pi(r_j + r_i)^2}{\pi(r_c + \frac{x}{l_{\phi}} R_M)^2 \Delta x} (\omega_j - \omega_i),$$

где r — радиус капель, ω — скорость капель данной группы, r_c — радиус сопла, x — расстояние от сопла форсунки, R_M — радиус мишени, Δx — шаг по оси факела распыла, l_{ϕ} — длина факела.

И.А. Базулин., А.В. Виноградова студенты; рук. А.В. Лубенченко, д.т.н, проф., Д.А. Иванов, к.т.н, проф. (НИУ МЭИ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МЕЖДУ АКТАМИ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

В настоящее время существует множество способов химического и фазового анализа твёрдых тел, их поверхностных и приповерхностных слоёв. К этим способам относится электронная спектроскопия, основными представителями которой являются рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, оже-спектроскопия и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Для получения количественных данных о составе исследуемого образца измеряется интенсивность вылетающих из тела электронов и сравнивается с эталонной. Однако, для проведения измерений состава внешнего атомарного слоя необходимо обладать знанием о глубине, с которой происходит эмиссия фотоэлектронов. Эта информация требуется для того, чтобы возможно было оценить вклад от каждого слоя атомов мишени в общий сигнал. Такие данные можно извлечь из процессов неупругого рассеяния фотоэлектронов в твёрдом теле, происходящих при их движении к поверхности. Точность результата анализа напрямую будет зависеть от точности определения такой величины, как средняя длина свободного пробега между актами неупругого рассеяния. В данной работе построена квантово-механическая модель взаимодействия заряженных частиц с электрон-ионной плазмой твёрдого тела с применением методов квантовой теории поля. На основе данной модели были получены запаздывающая и опережающая временные функции Грина и с их помощью определена аналитическая зависимость средней длины свободного пробега между актами неупругого рассеяния от энергии налетающих электронов (1):

$$\lambda(E_0) = \left[\frac{e^2 m n E_p}{8\pi \hbar^2 E_0} \ln \sqrt{\frac{4E_0}{E_p}} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где e — заряд электрона; m — масса электрона; n — концентрация электронов; E_p — энергия плазменных колебаний; E_0 — энергия налетающих электронов.

Было произведено сравнение полученных по формуле данной работы средних длин свободного пробега между актами неупругого рассеяния с рассчитанными длинами по другим известным формулам [1].

Литература

1. **Тиньков В.А.** Длина свободного пробега медленных электронов в твердом теле в зависимости от их энергии // Успехи физики металлов. — 2006.

*А.А. Коньков, К.А. Rogozin, В.С. Квасков, С.В. Белоусов, студенты;
рук. В.П. Будаев, д.ф-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПЫТАНИЕ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ МОДУЛЕЙ ЛИТИЕВОЙ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СИСТЕМЫ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Одной из проблем, которые предстоит решать при создании стационарного термоядерного токамака-реактора, является исполнение внутрикамерных компонентов. Предполагается, что конструктивные элементы первой стенки термоядерного реактора подвергнутся воздействию нейтронного потока с энергией 14,1 МэВ, срывам заряженных частиц с плотностью теплового потока до 10 ГВт/м² на стенку и стационарной тепловой нагрузке в 10 МВт. В совокупности это приводит к наноструктурированию, охрупчиванию и рекристаллизации поверхности. Одним из предлагаемых решений данной проблемы является использование капиллярно — пористых структур, наполненных жидкими металлами. Они обладают свойствами самовосстановления поверхности и саморегуляции за счёт капиллярных сил.

Для проведения дальнейших экспериментов с капиллярно-пористыми системами необходимо увеличить диапазон их рабочих параметров и решить задачу термостабилизации и отвода тепла от мишени. Для этого была разработана система водяного охлаждения мишени на основе медного водоблока.

В данной работе были разработаны макеты КПС без системы охлаждения и с системой охлаждения и затем испытаны в плазменной установке ПЛМ-1. Время экспозиции мишеней составляло 500 минут, тепловой поток составил до 1 МВт/м², температура поверхности КПС достигала 600 К, объёмный расход воды в контуре охлаждения составлял 1.5 л/мин. Проводилась оптическая спектроскопия пристеночной плазмы мишени и исследование поверхности мишеней сканирующим электронным микроскопом.

Согласно результатам исследования мишеней, тепловой поток на поверхность водоохлаждаемой мишени был в 1.71 раз больше, чем на поверхность неохлаждаемой мишени при одинаковых временах экспозиции и температуры поверхности. При этом в обоих случаях поверхность КПС не разрушилась во время проведения экспериментов.

Е.А. Муравьева, студ.; рук. Д.И. Кавыршин, к.ф.-м.н. («НИУ «МЭИ»)

ОПТИЧЕСКАЯ ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ МАКЕТОВ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКИ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА В УСТАНОВКЕ ПЛМ

В целях испытания макетов теплозащитной облицовки первой стенки токамака высокоэнергичными плазменными потоками в «НИУ «МЭИ» создана экспериментальная установка ПЛМ — плазменный линейный мультикасп [1]. Конструкция установки позволяет удерживать плазму в стационарном режиме несколько часов, обеспечивая тепловую нагрузку на образец до 10 МВт/м².

Для определения параметров плазмы в области её взаимодействия с мишенью проводилась регистрация оптических эмиссионных спектров, полученных при взаимодействии плазмы с танталовой фольгой и вольфрамовым кубиком на медной подложке. На зарегистрированных спектрах присутствуют интенсивные линии атомов гелия, а также линия иона гелия He II 468.53 нм в первом случае и интенсивные линии атомов меди во втором случае. Отсутствие ионной линии плазмообразующего газа на втором спектре говорит о более холодной температуре, а наличие линий меди — о плавлении и испарении медной подложки вольфрамового образца. Линии излучения атомов мишени отсутствуют в обоих случаях, что значит, что их испарение не наблюдается, но подъём сплошного спектра в области больших длин волн связан с тепловым излучением нагретой поверхности мишени.

Анализ спектров излучения показал, что распределения заселённости возбуждённых уровней атома гелия от энергии не описываются законом Больцмана с единой электронной температурой. Однако по формулам, описанным в [2], удалось определить электронную температуру плазмы (1.0÷1.2 эВ) и поверхности испытываемого образца (1800÷1900 К).

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 21-79-10281

Литература

1. V.P. Budaev, S.D. Fedorovich, M.V. Lukashovsky, M.K. Gubkin, A.V. Lazukin, D.I. Kavyrshin & K.S. Rogozin The PLM Plasma Device for Tests of Tungsten with Powerful Stationary Heat Plasma Loads. Phys. Atom. Nuclei 82, 1281–1291 (2019). <https://doi.org/10.1134/S1063778819090023>
2. **Чиннов В.Ф.** Излучательные свойства и спектроскопия низкотемпературной плазмы — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 168 с.

В.С. Штелинг, асп.; рук. А.Т. Комов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Целью работы является исследование теплоотдачи диспергированным потоком теплоносителя от высокотемпературной поверхности, нагреваемой тепловыми потоками высокой плотности. Назначением экспериментального стенда является исследование возможности отвода тепловых потоков высокой плотности и термостабилизация в заданном интервале температур энергонагруженных конструктивных элементов.

На рис. 1 изображена принципиальная схема стенда. Визуальное наблюдение за процессом испарения проводится в герметичной камере (1), оснащённой смотровыми окнами из оптического стекла. В качестве источника нагрева используется индукционный нагрев при помощи ВЧ-генератора типа ВЧ-60АВ.

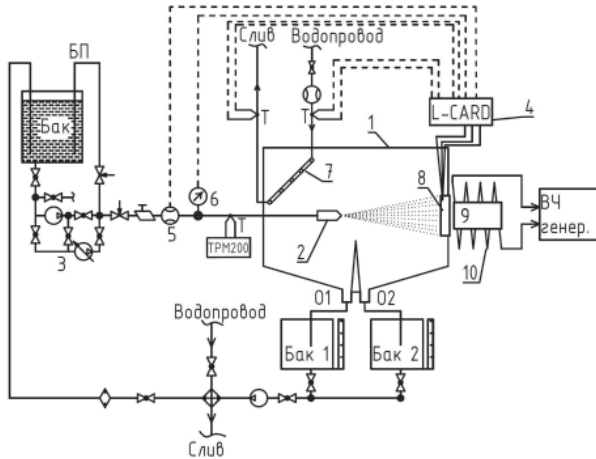


Рис. 1. Принципиальная схема стенда: Принципиальная схема установки:

- 1 — экспериментальная камера, 2 — гидравлический контур, 3 — насос, 4 — система сбора информации L-CARD, 5 — измеритель давления, 6 — цифровой расходомер, 7 — конденсатор, 8 — мишень, 9 — магнитный концентратор, 10 — индукционная катушка

Получены экспериментальные данные при использовании обновлённого рабочего участка, изготовленного из никеля. Также был применен ферритовый магнитный концентратор для создания эффективного одностороннего индукционного нагрева.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ №21-79-10179

*С.В. Белоусов, А.А. Коньков, К.А. Рогозин, В.С. Квасков, студенты; В. Чан-Куанг, асп.;
рук. В.П. Будаев, д.ф-м.н., проф. (НИУ МЭИ)*

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ПЛМ-М ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВОЛЬФРАМОВЫХ МИШЕНЕЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ МЕГАВАТТНОГО МАСШТАБА

В настоящее время в проектировании термоядерных установок остро стоит материаловедческая проблема, состоящая в поиске материалов, способных выдерживать импульсные и стационарные тепловые потоки порядка 1 ГВт/м^2 . Для этого необходимы установки — симуляторы пристеночной и диверторной плазмы токамака, на которых возможна постановка модельных экспериментов по симуляции условий, которым будет подвергаться поверхность исследуемых материалов.

Для расширения программы испытаний и диапазона режимов облучения образцов в НИУ МЭИ была модернизирована линейная плазменная установка ПЛМ-М, являющаяся симулятором пристеночной плазмы и плазмы дивертора. Её характеристики: магнитное поле на оси камеры 0.25 Тл , плотность электронов $10^{19} - 10^{20} \text{ м}^{-3}$, электронная температура 10 эВ , тепловая нагрузка на мишень до 10 МВт/м^2 , ионный поток на мишень $10^{23} - 10^{25} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$, стационарное удержание плазмы. Рабочим газом является гелий. Изменениям подверглись конструкции катодного узла, вакуумной системы, системы питания основных узлов установки, разработана система дополнительного нагрева плазмы. Конструкция вакуумной камеры позволяет вводить лазерную нагрузку на образцы для обеспечения условий интенсивного дугообразования, использовать широкий спектр оптических и зондовых диагностик. Все эти мероприятия позволили увеличить диапазон тепловой нагрузки на образцы и объём собираемых данных с экспериментов.

На модернизированной установке ПЛМ-М была проведена серия испытаний вольфрамовых макетов облицовки термоядерной установки стационарной плазменной нагрузкой. Образцы исследовались в условиях тепловой нагрузки до 1 МВт/м^2 , были получены наноструктуры типа “пух”.

Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, студ.;
рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ СТАЦИОНАРНОГО ГЕЛИКОНОВОГО РАЗРЯДА

С целью полномасштабных испытаний конструкционных материалов, в том числе вольфрам и жидкометаллические (Li, Sn, Li/Sn КПС) внутрикамерные конструкции ТЯР в плазменной мультикасповой ловушке ПЛИМ-2 [1] разработана и создана система стационарного ВЧ-нагрева плазмы с использованием геликоново-вой антенны [2], которая позволяет повысить плазменные параметры в установке ПЛИМ-2 до показателей, аналогичных периферийной плазме крупного токамака: $T_e = 1-10$ эВ, $n_e = (1-10) \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

На рис. 1 изображена принципиальная схема экспериментального стенда, назначением которого является тестирование работоспособности и эффективности системы ВЧ-нагрева плазмы. Энергия мощностью 2 кВт от ВЧ-источника передана к антенне через систему согласования. Магнитное поле имеет значения от 1 мТл по 72 мТл, которые удовлетворяют условию возбуждения электромагнитных геликоновых волн при частоте 27,12 МГц. Рабочий газ является гелием. Давление в разрядной камере при этом составляет 23 Па.

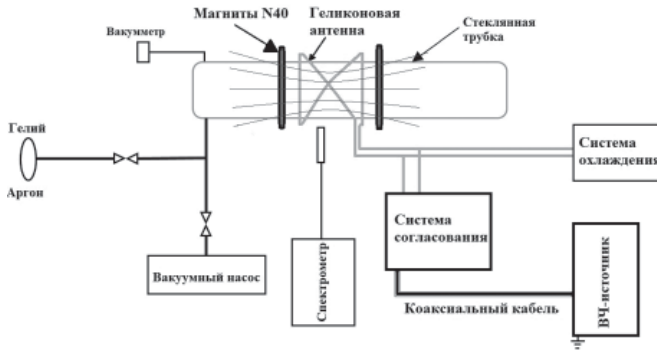


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Была организована регистрация оптических эмиссионных спектров при помощи четырехканального оптоволоконного спектрометра AvaSpec. Полученные данные позволяют определить температуру электронов плазмы ~ 1.5 эВ и электронную концентрацию $n_e = 5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

Анализ результатов показывает работоспособность и эффективность системы стационарного ВЧ-нагрева геликонового типа.

Литература

1. V P Budaev et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1383 012016
2. Tran Quang V et al 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1683 032013

*В.С. Квасков, К.А. Рогозин, студенты (НИУ «МЭИ»);
рук. А.В. Сушков, с.н.с. (НИЦ «Курчатовский институт»)*

ВНУТРИКАМЕРНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГОСОДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА Т15-МД

Для определения энергосодержания плазмы в токамаках применяют методику определения диамагнитного потока от плазмы [1,2].

Измерения диамагнитного потока можно осуществить с помощью диамагнитной петли, охватывающей плазму в полоидальном направлении. В диамагнитной петле наводится ЭДС за счёт вклада изменений проходящих через неё нескольких потоков: от плазмы, тороидального и полоидального полей катушек, вихревых токов в камере и механических смещений петли.

На установке Т-15МД реализована двухпетлевая схема диамагнитной диагностики [3, 4]. Благодаря тому, что произведение $n_1 S_1 = n_2 S_2$ (где n — число витков диамагнитной обмотки, а S — площадь охватываемого контура), удается исключить влияние внешних потоков. Равенство nS обеспечивается калибровкой измерительной схемы.

В данной установке диамагнитная система состоит из двух катушек по 4 витка, размещённых на стенке и ребре камеры. Монтаж осуществлён с помощью контактной сварки непосредственно к камере. Петли диагностики закрыты стальным экраном для защиты от воздействия плазмы. После ввода токамака в эксплуатацию, диагностика будет защищена графитовой облицовкой.

Система сбора данных состоит из делителя сигнала с диамагнитных петель, аналогово интегратора и АЦП. Также разрабатывается система дополнительной компенсации тороидального потока и механических смещений диамагнитных петель.

Литература

1. **Artsimovich L.A.** Tokamak devices // Nucl.Fusion. 12. 215. 1972.
2. **Andreev N.E., G. Tonetti, J. P. Christiansen, and L. de Kock** Measurement of the energy content of the JET tokamak plasma with a diamagnetic loop // Rev. Sci.Instrum. Vol. 57. No. 8. August 1986.
3. **Пустовитов В.Д.** Диагностические возможности диамагнитных измерений с двумя петлями в токамаках // Физика плазмы, Т. 46. № 8. стр. 675–684. 2020.
4. **Dubrov M.L. and Pustovitov V.D.** Diamagnetic diagnostics of rapid events in the T-15MD tokamak // Plasma Phys. Control. Fusion 61. 065018, 2019.

*К.А. Рогозин, А.А. Коньков, В.С. Квасков, С.В. Белоусов,
В.Ч. Куанг, студенты; рук. С.Д. Федорович, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЗОНДОВАЯ ДИАГНОСТИКА УСТАНОВКИ ПЛМ НИУ «МЭИ»

Для исследования конструкционных материалов первой стенки термоядерных реакторов сооружаются плазменные установки, способные в стационарном режиме поддерживать плазменный разряд [1–3]. В ходе экспериментов необходимо иметь диагностику как самой испытываемой поверхности, так и приповерхностной плазмы.

Для определения концентрации ионов и турбулентного уровня в приповерхностной плазме, колебаний, теплового потока через поверхность, обращенную к плазме, можно использовать систему зондовой диагностики приповерхностной плазмы, состоящую из сборки ленгмюровских зондов и вспомогательных узлов.

На модифицированной установке ПЛМ НИУ «МЭИ» разработана и испытана система подвижной зондовой диагностики. Данная система предназначена для исследования плазменного экранирования при интенсивной дуговой и плазменно-пучковой эрозии вольфрамовых и литиевых материалов. Система состоит из электромеханического манипулятора перемещения сборки измерительных ленгмюровских зондов; узла питания для измерения сигналов зондов; сборки из 4-х измерительных ленгмюровских зондов; для защиты от электромагнитных помех используется система питания, состоящая из свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. В ходе проведения эксперимента по облучению макета вольфрамовых модулей с помощью импульсного лазера, на установке ПЛМ-М были получены значения плавающего потенциала на зондах в периферийной области. Также произведено измерение ионного тока насыщения на зонде, с использованием токоизмерительного шунта.

Результаты эксперимента свидетельствуют о наличии различных турбулентных возмущений в плазме в момент лазерного импульса.

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.

*А.С. Демидов, асп., Д.А. Тупотилов, студ.;
рук. А.В. Захаренков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА НА РАБОЧЕМ УЧАСТКЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Рассматривается один из способов эффективного охлаждения и температурной стабилизации, высоконагруженных в тепловом отношении теплообменных устройств, основанный на использовании диспергированного потока. Целью работы является исследование характеристик теплообмена при охлаждении цилиндрического рабочего участка диспергированным потоком теплоносителя в условиях равномерного индукционного нагрева.

На рис. 1 изображена принципиальная схема гидравлического контура установки. В качестве источника нагрева используется ВЧ-генератора типа ВЧ-60АВ.

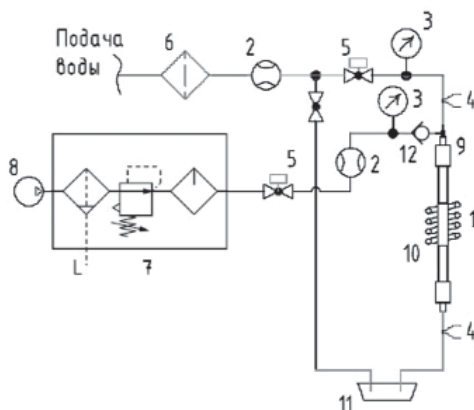


Рис. 1. Принципиальная схема гидравлического контура установки: 1 — рабочий участок; 2 — расходомеры; 3 — манометры цифровые; 4 — датчики температуры; 5 — электромагнитный клапан; 6 — механический фильтр; 7 — устройство подготовки сжатого воздуха; 8 — компрессор; 9 — форсунка; 10 — индуктор; 11 — бак; 12 — обратный клапан

Получены экспериментальные данные по распределению температуры цилиндрического рабочего участка в радиальном и осевом направлениях.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ №21-79-10179

*Д.С. Лукьянцев, асп.; В.А. Ячук, О.Н. Павлов, студенты;
рук-ли А.В. Лубенченко, д.т.н.; Д.А. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ ТОНКИХ ОКИСЛЕННЫХ НЕОДНОРОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ РФЭС

Тонкие окисленные плёнки переходных металлов находят своё применение в создании мемристоров, которые, в свою очередь, являются ключевым элементом энергонезависимой резистивной оперативной памяти (RRAM) [1]. Существуют разные типы мемристоров, каждый из которых обладает присущим ему механизмом резистивного переключения [2]. Ограничениями широкого применения мемристоров являются нестабильный резистивный переход и токи утечки.

Резистивный переход из одного состояния в другое происходит под действием электрического поля, создаваемого в устройстве. Количественная величина перехода зависит от многих параметров, включая различную стехиометрию и толщину субоксидных слоёв. Работа [3] показывает перспективность применения плёнки Nb_2O_5 при создании мемристивных структур.

В настоящей работе тонкие оксидные плёнки ниобия, окисленные в атмосфере, подвергаются деликатному ионному распылению и последующему анализу неразрушающим методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). РФЭС-спектры получены на комплексе электронно-ионной спектроскопии Нанофаб-25 и обработаны по методике [4], которая позволяет получить послонный фазовый профиль. Выполнено моделирование взаимодействия ионного пучка с поверхностью твёрдого тела.

Результаты РФЭС анализа и моделирования показывают, что приповерхностная область образца модифицируется наилучшим образом в первом цикле модификации, в первых циклах модификации происходит селективное распыление кислорода, длительная модификация приводит к согласованию парциальных коэффициентов распыления Nb и O .

Литература

1. **Белов А.Н.** Мемристорные структуры для микро — и нано-электроники. Физика и технология // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2017. Т. 22. №. 4. С. 305–321.
2. Мемристор. Изготовление структуры и исследование ее свойств: Лабораторный практикум для 5 курса ФКЭ МФТИ, Долгопрудный, 2013.
3. **Hota M.K. [et al.]**. “Switching Mechanism in Au Nanodot-Embedded Nb_2O_5 Memristors,” J. of Nanosc. and Nanotechn., № 5 (14), С. 3538–3544, 2014.
4. **Lubchenko A.V. [et al.]**. Non-destructive chemical and phase layer profiling of multicomponent multilayer thin ultrathin films // J. of Ph.: Conf. Ser. 2019. (1370). С. 012048.

*А.С. Мязин, Е.А. Муравьева, студенты;
рук. Д.И. Кавыршин, к.ф.-м.н. («НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ КАПИЛЛЯРНОГО РАЗРЯДА В ТОРЦЕВОЙ ОБЛАСТИ КАПИЛЛЯРА

Исследуемый в работе капиллярный разряд представляет большой практический интерес, однако на данный момент нельзя говорить о наличии достаточной базы экспериментальных данных. До сих пор исследуются зависимости плазмы капиллярного разряда от параметров эксперимента. Большой интерес представляет исследование параметров плазмы внутри капилляра, но это сопряжено со многими сложностями, так как невозможно использовать обычные способы диагностики плазмы из-за малого размера капилляра. В работе был произведен анализ плазмы капиллярного разряда с аблирующей стенкой в сверхзвуковом режиме в торцевой области капилляра.

Исследуемый объект представляет собой многокомпонентную плазму, рабочим телом которой является материал абляции стенки. Использование данной методики генерации плазмы позволяет получать плазменную струю известного химического состава в широком диапазоне давлений $p = 10^5 - 10^8$ Па, температур $T = 10\,000 - 200\,000$ К, концентраций заряженных частиц $n_e = 10^{17} - 10^{20}$ см⁻³ при соответствующем выборе материала, размеров капилляра и параметров разрядного импульса. Капилляр изготовлен из полиметилметакрилата C₅H₂O₈, диаметр 2 мм, длина 10 мм. Падение напряжения на разрядном промежутке $U = 600$ В. В спектре плазмы при такой конфигурации эксперимента наблюдаются линии дублета иона углерода СII 657.8 нм и 658.3 нм и СII 678.3 нм и 679.1 нм, а также высокоинтенсивная водородная линия серии Бальмера H_α 656.5 нм.

Анализ плазмы капиллярного разряда по формулам приведенным в [1] показал, что максимум электронной температуры наблюдается на оси капилляра и составляет $T_e = 3$ eV, в профиле распределения электронной концентрации максимум $n_e = 3.4 \times 10^{17}$ см⁻³ наблюдается в двух местах: на оси капилляра и на расстоянии 0.2 мм, на расстоянии 0.1 мм существует провал концентрации $n_e = 3.3 \times 10^{17}$ см⁻³.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ 21-79-10281.

Литература

1. **Чиннов В.Ф.** Излучательные свойства и спектроскопия низкотемпературной плазмы / В. Ф. Чиннов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 168 с.

*А.В. Виноградова, И.А. Базулин, студенты;
рук. А.В. Лубенченко, д.т.н., проф, Д.А. Иванов, к.т.н, проф.
(НИУ МЭИ)*

МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ РФЭС

В конце XX столетия были достигнуты значительные успехи в областях вычислительной техники, радиоэлектроники, информатики. Это стало возможным благодаря научно-техническому прогрессу в области микроэлектроники. Одним из важнейших применений микроэлектроники является производство запоминающих устройств. Наиболее перспективным является устройство резистивной памяти с произвольным доступом (RRAM), в основе которого лежит явление, наблюдающиеся в мемристоре, структура которого металл-оксид-металл [1]. Оксидный слой в свою очередь состоит из высшего оксида и субоксида. Субоксиды переходных металлов являются наиболее перспективными материалом для данных целей. Основная целей данной работы — применение методов модификации субоксидной пленки, а также ее исследование методом РФЭС. Рассматривается два способа получения субоксидного слоя — ионное распыление поверхностного слоя и нанесение защитного ультратонкого защитного слоя из Ti . Исследуемые мишени изготовлены из Nb , размер которых составляет порядка 10 нм.

В первом случае мишень Nb атмосферно окислялась, затем подвергалась ионному распылению. С помощью РФЭС было установлено, что образовались субоксиды Nb . Во втором случае Ti защищает поверхность Nb от полного атмосферного окисления, таким образом образовались субоксиды Nb , что было подтверждено с помощью метода РФЭС. Также в работе проведен послойный анализ, который проводился на каждом этапе модификации исследуемой мишени [2].

Литература

1. **А. Гудков** Мемристоры — новый тип элементов резистивной памяти для наноэлектроники // Перспективная элементная база наноэлектроники. — 2014. — № 137. — С. 156–158.
2. **Лубенченко А.В., А.А. Батраков, Шуркаева И.В. [и др.]** Исследование наноразмерных пленок ниобия и нитрида ниобия методом РФЭС // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2018. — № 7. — 64–73 с.

В.Д. Чумаков, студ.; рук. М.В. Лукашевский, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УНИКАЛЬНЫХ СТРУКТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

В рамках произведенных исследований рассматриваются аэродинамические свойства уникальных структур, которые получаются при взаимодействии высокотемпературной плазмы с поверхностями тугоплавких металлов, таких как вольфрам, тантал, нержавеющая сталь и др. [1] Такие структуры имеют различные свойства, которые подлежат исследованию. Например, большая удельная площадь, что имеет значительную роль для адсорбции газа и катализа, пониженный коэффициент распыления, большое тепловое излучение, также такие структуры интересны как эффективные автоэлектронные катоды [2].

Проведен анализ микропрофилей поверхностей образцов, после воздействия плазмы при различных условиях. Получены безразмерные плотности вероятности профилей поверхности. Выполнены статистические исследования поверхностей на различных пространственных масштабах. Спрогнозировано влияние поверхности материала на его обтекание воздушным потоком. С помощью известных скейлингов [3] вычислен коэффициент лобового сопротивления при обтекании тел при различных структурах их поверхности.

Литература

1. **Будаев В.П., Лукашевский М.В., Федорович С.Д., Губкин М.К., Мартыненко Ю.В., Карпов А.В., Лазукин А.В., Шестаков Е.А.** Плазменная установка НИУ «МЭИ» для испытаний тугоплавких металлов и создания высокопористых материалов нового поколения // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017, № 40, вып. 3, С. 23–36.
2. **Будаев В.П.** Innovative potential of plasma technology // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2017, 891 012301
3. **М.А. Брутян, В.П. Будаев, А.В. Волков, А.М. Житлухин, А.В. Карпов, Н.С. Климов, И.С. Меньшов, В.Л. Подковыров, А.Ю. Урусов, А.А. Успенский, М.В. Устинов** Экспериментальные исследования управления турбулентным пограничным слоем с помощью фрактальной микроструктуры обтекаемой поверхности, Москва, 2016 // Результаты фундаментальных исследований в прикладных задачах авиационного строения. М.: Наука, 2016. С. 76–89.

*Л.Г. Лобанова, студ.;
рук. В.П. Афанасьев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ, К РАСШИФРОВКЕ СИГНАЛОВ ИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Спектроскопия, основанная на зондировании образцов легкими ионами, находит широкое применение для исследования мишеней сложного состава. Это ISS (Ion Scattering Spectroscopy), RBS (Rutherford Back Scattering), ERD (Elastic Recoil Detection). Для описания сигналов перечисленных методов будет использоваться ОКГ метод [1], показавший свою высокую точность при описании электронных спектров.

Аналитическое описание дифференциальных по углам и энергии спектров отраженных ионов традиционно строится на основе малоуглового приближения, которое базируется на «сильной вытянутости» дифференциального сечения упругого рассеяния $\omega_{el}(\theta)$:

$$\omega_{el}(0) \gg \omega_{el}(\pi). \quad (1)$$

Условие (1) успешно выполняется для ионов в более широком интервале энергий, чем для электронов. Это означает высокую эффективность ОКГ метода в спектроскопии легких ионов. Наиболее простым описанием процесса упругого рассеяния ионов является Straight Line Approximation, которое позволяет, например, интерпретировать RBS спектры Мэвных ионов. Но при снижении энергии зондирующих ионов возникает особенность в RBS спектре, которая не интерпретируется в SLA приближении.

Представленная в работе методика описывает спектры однородных и многослойных мишеней на основе аналитического подхода, основанного на решении граничной задачи для уравнения переноса методом инвариантного погружения. ОКГ метод позволяет использовать для решения полученных уравнений метод сферических гармоник. Решение определяется параметрами сечения упругого рассеяния, величиной stopping power, верификация которого подробно обсуждается в работе, и параметрами, определяющими процесс перезарядки ионов.

Литература

1. **Oswald R., Kasper E., Gaukler K.J.** Electron. Spectrosc. Relat. Phenom. 61 (1993) 251.

*Л.Г. Лобанова, студ.; М.А. Семенов-Шефов, студ.;
рук. В.П. Афанасьев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОНОСЛОЙНЫХ И СУБМОНОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования покрытий, толщина которых составляет от единиц до долей ангстрема, на основе XPS Peak Shape Analysis. Прямое использование в расчетах традиционных формул, полученных в приближении Straight Line Approximation может привести к значительным ошибкам в определении размеров покрытия.

XPS измерения субмонослойных покрытий золота на кремнии проводились на двух установках: 1. На установке SPECS с энергоанализатором, допускающим регистрацию XPS спектров фотоэлектронов, эмитированных в угловом интервале от 12–57°. 2. На установке KRATOS в режиме Angle Resolved — поворачивая мишень для регистрации спектров XPS под углами, близким к нормали и углами, составляющими с нормалью углы порядка 70 градусов. Обработка экспериментальных данных выполнялась на основе методик, представленных в работах [1]. Расчеты стабильно показывали уменьшение толщин покрытий с увеличением угла визирования относительно нормали. Аналогичные измерения толщин плоскопараллельных, равномерных покрытий приводили к одинаковой толщине, не зависящей от угла визирования.

Наблюдаемый эффект описан на основе модели островкового покрытия в виде параллелограммов. Данная модель позволила наглядно увидеть изменение Path Length Distribution Function (PLDF) эмитируемых фотоэлектронов в зависимости от угла визирования. Именно PLDF определяет соотношение интенсивностей XPS сигналов покрытия и подложки.

Полученные результаты указывают, что для определения средней эффективной толщины покрытия следует проводить серию экспериментов с угловым разрешением. Величина критического угла визирования, после которого стабилизируются данные по толщине, определяется степенью покрытия островками.

Литература

1. **Hoffman S.** Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy in Material Science, Berlin: Springer Verlag, 2013.

П.С. Семенов, студ.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УЗЛА НА ОСНОВЕ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДОВ В ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВКАХ

В токамаках и других термоядерных установках процессы переноса плазмы на стенку зависят от МГД активности и от электрических полей (дрейфы) в периферийной плазме. Необходимо развитие диагностик плазмы для одновременного измерения магнитных и электрических полей на периферии плазменных установок.

В работе представлена разработанная в НИУ «МЭИ» система комплексной электромагнитной диагностики плазменного шнура в установке ПЛИМ [1, 2] зондовым методом. Предложен электромагнитный зонд с геометрическими параметрами и свойствам, которые соответствуют требованиям работы в объёме плазменного разряда и позволяют измерять изменения параметров плазмы на характерных частотах флуктуаций и турбулентности в плазме. Система будет регистрировать электрические и магнитные поля на малых пространственных масштабах. Созданы методы калибровки и теоретического описания подобной диагностики для измерения свойств дрейфово-диссипативной турбулентности с учетом магнитных колебаний. Существует перспектива применения в более мощных плазменных установках и токамаках, таких как Т-15МД.

Измеряемые системой частоты флуктуаций электрических и магнитных полей достигают 500 кГц и 300 кГц соответственно. Для калибровки магнитной компоненты был сконструирован стенд в НИЦ «Курчатовский институт». Разработана методика описания влияния проводящей оболочки на амплитуда-частотную характеристику магнитного зонда. Разработана методика учёта поверхностных искажений амплитудно-частотных характеристик зонда с учетом экранирующей оболочки зонда. После апробирования зонда в ПЛИМ на его основе будет возможно измерение свойств турбулентности плазмы и переноса плазмы в токамаке Т-15МД.

Литература

1. **Будаев В.П. и др.** // ВАНТ сер. термоядерный синтез. 2017. Т. 40. № 3.
2. **Будаев В.П. и др.** // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. Т. 9. № 3.

Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, К.А. Рогозин, В.С. Квасков, С.В. Белоусов, студ.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф.(НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАКЕТОВ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКИ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ПРИ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ НАГРУЗКЕ

В современных токамаках ожидаются плазменно-тепловые нагрузки на поверхность диверторных пластин и лимитеров до 10–15 МВт/м². С целью обеспечения стационарной эксплуатации термоядерного реактора при таких нагрузках необходимо решать задачи теплообмена, охлаждения поверхности и разрабатывать новые методы интенсивного охлаждения теплозащитной облицовки.

Целью данной работы является тестирование работоспособности разработанного метода интенсивного охлаждения поверхности макетов теплозащитной облицовки в стационарном плазменном разряде.

На установке ПЛМ [1] были проведены исследования интенсивного охлаждения поверхности макетов вольфрамовых модулей и жидкометаллических литиевых КПС [2]. Охлаждение макетов осуществляется прокачкой теплоносителя через продольный цилиндрический канал внутренним диаметром 16 мм. Для формирования газожидкостного потока теплоносителя к установке ПЛМ был подключен контур охлаждения, который позволяет устанавливать режимные параметры теплоносителя в широком диапазоне: избыточное давление воды и воздуха $P_{\text{воды}} = (1,0 \div 4,0) \cdot 10^5$ Па, $P_{\text{возд}} = (1,0 \div 6,0) \cdot 10^5$ Па, объемный расход воды и воздуха $Q_{\text{воды}} = 50 \div 200$ л/час, $Q_{\text{возд}} = 1,0 \div 8,0$ м³/час, температура воды на входе в исследуемый макет $t_{\text{вх}} = (10 \div 30)$ °С. Контроль температуры макетов осуществлялся с помощью кабельных термопар типа хромель-алюмель (ХА). Была проведена диагностика приповерхностной плазмы методом оптической эмиссионной спектроскопии. Проведена оценка значений тепловых потоков, приходящихся на поверхность макетов, обращенную к плазме.

Результаты экспериментов показывают, что разработанный метод охлаждения поверхности макетов вольфрамовых модулей и жидкометаллических литиевых КПС в стационарном плазменном разряде значительно снижает температуру поверхности и позволяет повышать время испытания макетов, не приводя к их разрушению.

Спектроскопическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 21-79-10281.

Литература

1. **В.П. Будаев и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017. Т. 40. 3. 23.
2. **И.Е. Люблинский и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015. Т. 38. 1. 7.

*В.И. Кошлань, студ. (МЭИ); рук. С.С. Ананьев, к.ф.-м.н., в. н.с.
(НИЦ «Курчатовский институт», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТИН

Для решения задачи расширенного производства нейтронов термоядерного спектра в НИЦ «Курчатовский институт» с 2007 года ведется разработка концепции термоядерного источника нейтронов (ТИН) в виде гибридного реактора. В рамках реализации Федеральной программы и развития гибридных систем синтез-деление (ГССД) в РФ должны быть созданы установки ТИН-СТ [1] и ДЕМО-ТИН [2].

Отметим, что технологии термоядерного топливного цикла (ТЦ), обеспечивающие требуемые параметры плазмы для данных установок, нуждаются в значительной доработке. Для стационарных режимов работы установок ТИН-СТ и ДЕМО-ТИН уже были сформулированы требования к системам ТЦ ранее и оценено содержание трития в установке. Между тем, для сценариев ввода установки в эксплуатацию и нестационарных режимов работы ключевых систем ТЦ должно быть проведено дополнительное моделирование.

В докладе представлена разработанная модель ТЦ, базирующаяся на концептуальной схеме ТЦ ТИН, для моделирования динамики накопления трития в системах с учетом термоядерного выгорания, распада трития в системах ТЦ и его воспроизводства в бланкете. В её основе заложен подход «чёрных ящиков» [3]. Для приведенной модели были подобраны параметры, обеспечивающие хорошее совпадение с литературными данными, полученными кодом FC-FNS [4] для ДЕМО-ТИН. Показана возможность осуществлять моделирование нестационарных режимов работы установки. Работа поддержана НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. **Kuteev B.V., Azizov E.A. et al.** Steady-state operation in compact tokamaks with copper coils // Nucl. Fusion 51 (2011) 073013 (6pp) doi:10.1088/0029-5515/51/7/073013
2. **Kuteev B.V., Shpanskiy Yu.S.** and DEMO-FNS Team, Fusion-fission hybrid system development and integration into Russia's nuclear power engineering // ВАИТ. Сер. Терм. синтез, т. 44, вып. 2, с. 7–14, 2021, doi: 10.21517/0202-3822-2021-44-2-7-14
3. **Abdou M.A. et al**, Deuterium-Tritium Fuel Self-Sufficiency in Fusion Reactors // Fusion Technology, 9, 250 (1986).
4. **Ananyev S.S. et al**, Electronic model «FC-FNS» of the fusion neutron source DEMO-FNS fuel cycle and modeling hydrogen isotopes flows and inventories in fueling systems // Fusion Eng. Des. 138 289–293, 2019.

*Чан Куанг В., асп.; А.А. Коньков, К.А. Рогозин, Е.А. Муравьева,
А.С.Мязин, студ.; рук. Д.И. Кавыршин, к.ф.-м.н.,
ст. преподаватель (НИУ «МЭИ»)*

ДИАГНОСТИКА ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ИСПЫТАНИИ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИТИЕВЫХ КПС

В сегодняшний день, задача испытаний тугоплавких металлов и создания высокопористых материалов нового поколения, в том числе испытания материалов в обеспечение отечественной программы создания термоядерного реактора (ТИН и ДЕМО) и международного термоядерного реактора ИТЭР является крайне актуальной. Для решения данной задачи в НИУ «МЭИ» была сооружена плазменная линейная установка ПЛМ [1].

В установке ПЛМ был проведен ряд испытаний стационарными плазменными нагрузками опытных макетов на основе литевой жидкометаллической КПС, в том числе в условиях интенсивного дугообразования и экранирования приповерхностной плазмы для проверки теоретических представлений задачи стойкости литевых КПС в реакторе и ожидаемых результатов численных расчетов.

Для моделирования интенсивного дугообразования использована система на основе лазерного комплекса энергией импульса $E = 500$ мДж, длительностью 10 нс. В данной работе была организована регистрация оптических эмиссионных спектров для контроля параметров плазмы в области ее взаимодействия с испытуемым образцом в условиях интенсивного дугообразования. В зарегистрированных спектрах наблюдаются интенсивные спектральные линии атомов гелия и атомов лития, указывающие на расплавление и испарение лития. При облучении лазером была зарегистрирована временная зависимость интенсивности линии лития. Результат показал, что лазерный импульс является источником длительных процессов интенсивного излучения лития в плазме. Полученные данные позволяют определить температуру электронов плазмы и поверхности испытуемого образца.

Спектроскопическое исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ 21-79-10281, испытания материалов на установке ПЛМ — при поддержке проекта № 223 ЕОТП-УТП 774/158-Д ГК «Росатом» ЧУ «Наука и инновации», анализ поверхности материалов проведен при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ FSWF-2020-0023, оценки радиационных эффектов проведены при поддержке гранта РФФИ 19-29-02020.

Литература

1. **В.П. Будаев и др.** ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017. Т. 40.3. 23.

Секция 41
ТЕПЛОФИЗИКА
Thermophysics

Председатель секции:

д.ф.-м.н., профессор Синкевич Олег Арсеньевич

Секретарь секции: к.т.н. Глазков Василий Валентинович

*В.Д. Матушкин, студент;
рук. О.А. Синкевич, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В СЛАБО ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЕ

Рассматривается область низкотемпературной плазмы с концентрацией n_0 , в которой распространяется электромагнитная волна заданной частоты ω_0

$$E = A \exp(ik_0z - i\omega_0t) + \text{КС}, \quad (1)$$

где $A = A_x + iA_y$.

Под воздействием поля волны, происходит изменение концентрации электронов n_1 и возникновением электрического тока. Рассмотрим частный случай, в котором учитывается обратное воздействие плазмы на распространение падающей волны.

Изменение концентрации электронов в этом приближении определяется уравнением

$$\frac{1}{n_0} \frac{\partial n_1}{\partial t} = \frac{e^2 E_0^2 v_e}{im(v_e^2 + \omega_0^2)} - 3 \frac{m}{IM} k_B (T_e - T_a) v_e \quad (2)$$

Следя [1] получено нелинейное уравнение Шрёдингера (НУШ), описывающее медленную эволюцию амплитуды волны в плазме, которое в безразмерном виде выглядит так

$$i \frac{\partial}{\partial \tau} \zeta = -\frac{1}{2} \tilde{\Delta} \zeta - i \frac{\partial}{\partial \eta} \zeta + \beta [|\zeta|^2 - \alpha] \zeta \quad (3)$$

$$\text{Здесь } \alpha = i + 3\varepsilon \frac{m k_B (T_e - T_a) v_e}{M l \omega_0}, \quad \beta = \frac{1}{2} \frac{\omega_p e^2 v_e}{v_e^2 + \omega_0^2 \omega_0 \varepsilon'}$$

Решение (3) ищется в виде

$$\zeta(\rho, \eta, \tau) = R(\rho) \cdot \exp[i\theta(\rho) + ik\eta - i\omega\tau], \quad (23)$$

и сводится к системе нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Литература

1. Синкевич О.С. Шнурование электрических разрядов и «Винтовые солитоны». Журнал технической физики, т. 56, в. 4, 1986. — С. 752–754.

Н.М. Нарбутовских, студ.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ТРУБ НА КОНДЕНСАЦИЮ ПАРА ИЗ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПУЧКАХ ГЛАДКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБ В РЕЖИМЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

В пассивных системах безопасности АЭС предусмотрены конденсаторы пара из смеси пара и неконденсирующихся примесей [1]. Движение паровоздушной смеси через трубный пучок является свободноконвективным и возникает из-за неоднородности плотности вследствие конденсации пара. В условиях, характерных для подобных систем, диффузионный слой с повышенным содержанием неконденсирующихся примесей, образующийся вблизи поверхности труб, представляет основное сопротивление при конденсации пара (вклад термического сопротивления пленки меньше 5%). Известно, что увеличение скорости смеси существенно интенсифицирует процесс конденсации. В настоящей работе исследуется возможность повышения свободноконвективной скорости движения смеси через трубный пучок за счет изменения формы труб пучка.

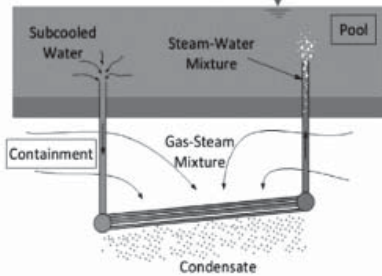


Рис. 1. Конструкция пассивной системы безопасности АЭС. Иллюстрация взята из работы [1]

Представлено описание упрощенной CFD-модели внешнего потока. Выполнена верификация на доступных экспериментальных данных. Результаты показали, что для коридорного пучка при конденсации пара из смеси при давлении 1 атм и объемной доли пара 50% увеличение средней плотности теплового потока может достигать 50% при изменении поперечного сечения труб с круглого на овальное. Все расчеты были выполнены с использованием CFD-кода ANES [2].

Литература

1. **Haag M., Selvam P. K., Leyer S.** Effect of condenser tube inclination on the flow dynamics and instabilities in a passive containment cooling system (PCCS) for nuclear safety // Nuclear Engineering and Design. — 2020. — Т. 367. — С. 110780.
2. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 26.10.2021).

Р.А. Дуплянкин, асп.; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВСПИПАНИЕ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НАГРЕТОЙ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В работе рассматривается метод интенсивного охлаждения с помощью свободных струй недогретой жидкости кипящих на нагретой поверхности. Одним из главных нерешенных вопросов при теоретическом описании является визуально фиксируемый контакт охлаждающей жидкости с поверхностью при уровне температур, существенно превышающих как предельно допустимую температуру перегрева охлаждающей жидкости, так и критическую температуру этой жидкости [1–2]. С термодинамической точки зрения при таком уровне температур прямой контакт жидкости с нагретой поверхностью невозможен. Данный феномен, как и сам процесс взаимодействия струи с поверхностью, является темой многочисленных работ, в первую очередь экспериментальных.

Исследовано взаимодействие водяной струи температурой $T=25^{\circ}\text{C}$ и диаметром $d=0.6$ мм с толстостенной стальной пластиной при различных температурах поверхности, скоростях жидкости и углах наклона струи. Температура поверхности в опытах могла превышать температуру Лейденфроста, достигая 340°C , однако жидкость, по визуальным наблюдениям, смачивала поверхность. В работе определены геометрические характеристики смоченной области на поверхности нагретой пластины и углы, под которыми капли жидкости двигаются от поверхности при взрывном распаде жидкой пленки. Сформулирована гипотеза, что взрывной распад пленки жидкости на поверхности, сопровождаемый генерацией мелкодисперсных капель, происходит в тот момент, когда тепловой пограничный слой, развивающийся внутри жидкой пленки, достигает внешней свободной поверхности жидкости. Предварительные измерения, по всей видимости, подтверждают высказанную гипотезу.

Литература

1. **Karwa N., Stephan P.** Experimental investigation of free-surface jet impingement quenching process // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2013. Vol. 64. P.1118.
2. **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

Г.О. Зинченко, студент;
рук. О.А. Синкевич, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТРЕХМЕРНОЕ ВИХРЕВОЕ ТЕЧЕНИЕ В СФЕРИЧЕСКОМ СЛОЕ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

К настоящему времени накопились много данных о аномальных явлениях в атмосфере (НЛО, шаровые молнии, летающие тарелки и т.п.) [1]. В популярной литературе для объяснения этих явлений используются экзотические представления, включая присутствие представителей взеземных цивилизаций. Однако современное состояние науки позволяет представить доказательства возможности образования таких «аномальных» объектов. В данной работе демонстрируется возможность образования в атмосфере сосредоточенных сферических вихрей класса течений Громеки–Бельтрами [2] и Н.Е. Жуковского [3], в которых выполняется условие $\nabla \times u = ku$. Построено новое решение о сосредоточенном трехмерном вихре, находящемся над твердой поверхностью (Рис. 1). Данное решение обобщает задачу о сосредоточенном вихре в цилиндрической системе координат [4]. Детально исследованы характеристики данного вихря.

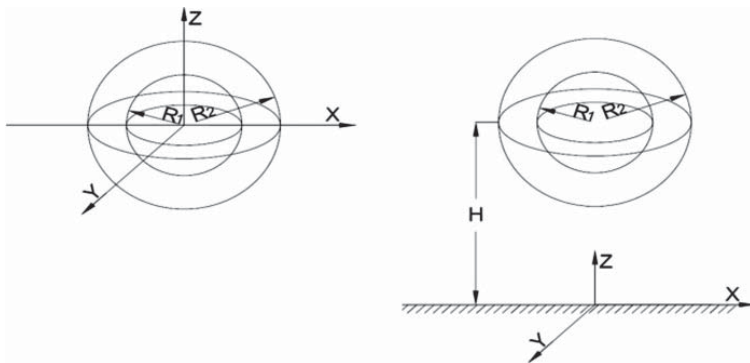


Рис. 1. Слева показан сферический слой, в котором центры Декартовой и сферической системы координат совпадают. Справа сфера вынесена на расстояние H от твердой поверхности, на которой находится центр Декартовой системы координат

Литература

1. Синкевич О.А. Современное состояние проблемы шаровой молнии. В кн. И.П. Стаханова «О физической природе шаровой молнии», под. ред. А.А. Рухадзе и М.М. Фикса. Москва, Изд. Научный Мир, 1996, 263 С.
2. Чифранов С.Г. Генерация спиральности в однородно-винтовых течениях // ЖЭТФ. 2004. Т. 126. Вып. 5(11). С. 1133.
3. Жуковский Н.Е. О присоединенных вихрях. Собр. соч. Т. 4. М.–Л., 1949.
4. Синкевич О.А., Зинченко Г.О., Ивочкин Ю.П. «Одинокые стационарные, сосредоточенные вихри специального типа и системы таких вихрей», ТВТ, 57:4 (2019), 548–559.

К. Тонцын, студ.; рук. Г.Г. Яньков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОМ СТЕРЖНЕ С ВНУТРЕННИМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕМ

Рассматривается стационарная задача о полях температуры и плотности теплового потока в сечении трехслойного стержня в центральной части которого задано неоднородное тепловыделение. Постановка задачи аналогична постановке задачи о поле электрического потенциала, удовлетворяющего уравнению Пуассона в неоднородной среде, представляющей интерес при изучении течения электропроводящей жидкости в круглой трубе при поперечном магнитном поле (электро-тепло аналогия). При этом, как правило на внутренней поверхности трубы образуется оксидная пленка, которая обладает значительным сопротивлением.

Геометрические параметры цилиндра: 1) ядро: $0 \leq r \leq 1$ (сплошной цилиндр); 2) слой оксидной пленки: $1 \leq r \leq 1 + \delta_{oxid}$, где δ_{oxid} — толщина оксидной пленки; 3) внешняя стенка: $1 + \delta_{oxid} \leq r \leq 1 + \delta_{oxid} + \delta_w$, где δ_w — толщина внешней стенки;

Математическая постановка задачи в полярной системе координат включает: Уравнение теплопроводности:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + S_T = 0 \quad (1)$$

Граничные условия: $\frac{\partial T}{\partial r}(r = 0) = 0$, $\frac{\partial T}{\partial r}(r = 1 + \delta_{oxid} + \delta_w) = 0$

Объемное тепловыделение задана следующим соотношением:

$$S_t = \begin{cases} 10 * y_c^3, & r \leq 1 \\ 0, & r \geq 1 \end{cases}, \quad y_c = r * \sin(\theta)$$

Теплопроводность материалов:

$$\lambda = \begin{cases} 1, & r \leq 1 \\ \lambda_{oxid}, & 1 \leq r \leq 1 + \delta_{oxid} \\ \lambda_w, & 1 + \delta_{oxid} \leq r \leq 1 + \delta_{oxid} + \delta_w \end{cases} \quad \delta_w = 1.5, \delta_{oxid} = 0.003$$

Дискретизация уравнения (1) с разрывами коэффициента теплопроводности на поверхностях контакта различных материалов выполнена методом контрольного объема (МКО). Численное решение получено с использованием программы С. Патанкара CONDUCT [1].

Приводятся поля температур и плотностей тепловых потоков при различных термических сопротивлениях среднего слоя рассматриваемого стержня.

Литература

1. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. М.: Издательство МЭИ, 2003.

М.Д. Нащёкин, асп.; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СОПРЯЖЕННОГО ТЕПЛООБМЕНА В МЕТАЛЛОГИДРИДНОМ РЕАКТОРЕ С СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ

Во многих работах рассматриваются металлогидридные системы с идеализированными условиями работы. Часто это — системы с хорошим внешним охлаждением. Коэффициенты теплоотдачи в таких системах имеют значения, которые трудно реализуются на практике. Более того, реализуются идеализированные условия сорбции/десорбции. Под “идеализированными” условиями понимается постоянство давления на входе и выходе из системы. Часто реальные условия имеют отличия от идеализированных. Зарядка, а тем более разрядка происходит при наличии требований по обеспечению заданных расходов водорода. Это приводит к трудностям при использовании результатов существующих исследований для проектирования промышленных образцов металлогидридных систем.

В данной работе выполнено моделирование работы металлогидридной системы, представленной в работе [1], с заданными значениями максимального расхода на входе/выходе из системы. В реакторе находилось 102,8 г сплава LaNi_5 высотой 61,5 мм. Реактор имеет систему аккумуляции тепловой энергии на фазовом переходе. В данной работе использовался парафин с температурой плавления 42°C , теплотой фазового перехода 220 кДж/кг , теплоемкостью $2160 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, плотностью 850 кг/м^3 . В процессе зарядки на вход подавался водород с ограничением расхода в 500 мл/мин , срабатывающем в самом начале работы. При снижении скорости зарядки до 30 мл/мин система переключалась в режим питания топливного элемента, на нужды которого требовалось 150 мл/мин .

Показано, что динамика зарядки/разрядки реактора, изменение давления в свободном объеме, а также поведение температуры отличаются от характеристик, получаемых при заданном входном/выходном давлении. Учет всех факторов, влияющих на процесс зарядки, позволяет аккуратно предсказать поведение системы при заданных условиях.

Все расчеты были выполнены с использованием CFD-кода ANES [2].

Литература

1. **Яо J. и др.** A continuous hydrogen absorption/desorption model for metal hydride reactor coupled with PCM as heat management and its application in the fuel cell power system // Int. J. Hydrogen Energy. 2020.
2. **Код ANES [Электронный ресурс]**. URL: <http://anes.ch12655.tmweb.ru/> (дата обращения: 05.11.2021).

В.И. Кузнецов, студент; рук. И.С. Антаненкова, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ОБОГРЕВА ГАЗОВЫХ КАМЕР ЛИНЕЙНОЙ ЯЧЕЙКИ КРУЭ

Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ) на напряжение 126 кВ широко применяется на подстанциях всех типов. Условиями эксплуатации КРУЭ ZF7-126 определен диапазон рабочих значений температур от минус 25°C до плюс 40°C. Для многих регионов РФ минимальная рабочая температура оборудования КРУЭ может достигать значений существенно более низких, чем минус 25°C. Элегаз (SF₆), находящийся в камерах в качестве изолирующей среды при таких рабочих температурах частично переходит в сжиженное состояние, что негативно влияет на свойства изоляции и функцию отключения коммутационных устройств.

Цель работы — определение мощности, необходимой для нагрева и поддержания в газообразном состоянии элегаза в основных камерах линейной ячейки КРУЭ ZF7-126 при снижении рабочих температур окружающей среды ниже минус 25°C.

В рассматриваемой установке элегазом под давлением заполнены: камера выключателя СВ, камера трансформатора тока СТ и камера кабельного ввода CSE. При известных параметрах заполнения рабочих объемов КРУЭ элегазом необходимо определить нижний предел температуры, при которой обеспечена ее работоспособность, после чего выполнить расчет необходимой мощности подогрева камер линейной ячейки КРУЭ от –45°C до –20°C.

Таким образом, необходимо выполнить следующие расчеты:

1. Определение массы газа в камерах и нижнего предела температуры, при которой обеспечена работоспособность КРУЭ с элегазовой изоляцией.
2. Определение количества теплоты, необходимого для перехода сжиженного элегаза в газообразное состояние.
3. Определение количества теплоты, необходимого для нагрева элементов корпусов камер.
4. Определение величины потока тепловых потерь в окружающую среду с поверхностей камер.
5. Расчет итоговой мощности, необходимой для обогрева каждой камеры КРУЭ.

Полученные результаты показали, что нижний предел температуры SF₆ составляет: –26,1°C для камер СВ и СТ; –31,1°C — для камеры CSE. Требуемая мощность обогрева КРУЭ от –45°C до –20°C составляет 8,33 кВт (4,48 кВт для СВ, 2,39 кВт для СТ и 1,46 кВт для CSE).

А.А. Мочалов, асп.; Р.Е. Ушаков, Д.В. Беспалов, студенты;
рук. А.Ю. Вараксин, д.ф.-м.н. проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВИХРЕЙ МЕТОДОМ «PIV»

Вихревое движение является одной из основных форм движения сплошной среды. Важную роль в изучении вихревых структур играет физическое моделирование [1], в частности экспериментальные установки, оснащенные современными бесконтактными методами диагностики потоков. Основными объектами исследования, являются нестационарные концентрированные вихри, генерация которых осуществляется благодаря созданию неустойчивой стратификации воздуха. На основе обработанных «PIV» данных (рис. 1), представляется возможным построить распределение азимутальных скоростей в области основной вихревой воронки. Для наглядности, на полученные экспериментальные данные были наложены базовые модели вихревых структур, масштабы и параметры которых подобраны так, чтобы добиться наилучшего согласия между расчетом и экспериментом.

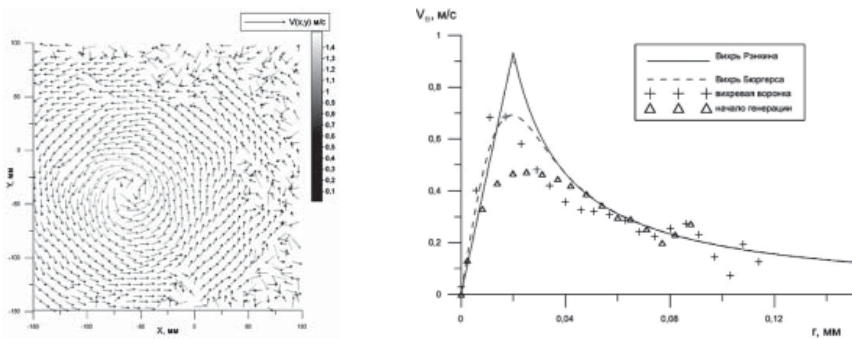


Рис. 1. Мгновенное векторное поле (слева), распределение азимутальных скоростей вихря (справа)

Рассмотрены некоторые особенности анализа экспериментальных снимков, полученных при исследовании воздушных нестационарных вихрей методом бесконтактной анемометрии по изображениям частиц «PIV». Произведена оценка распределений азимутальных скоростей вихревой воронки, по зарегистрированным полям скорости.

Литература

1. A.Yu. Varaksin, Concentrated air and fire vortices: physical modeling (a review), High temperature (Pleiades Publishing, 2016), vol. 54, pp. 409–427.

*И.С. Никонов, Д.В. Горбачев, студенты;
рук-ли. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»),
А.В. Лавриков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ КАПЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИЛИНДРЕ

Капельная конденсация отличается очень высоким коэффициентом теплоотдачи (далее КТО), однако метод расчета КТО в этом случае требует усовершенствования. Метод расчета в работах Дж.В. Роуза [1, 2] основан на использовании распределения капель по размеру. В методе расчета Исаченко В.П. [3] используется стохастическая модель.

Однако в настоящей работе предполагается создать метод расчета теплоотдачи при капельной конденсации на горизонтальном цилиндре с покрытием из наночастиц. Для этого предполагается использовать модель Исаченко В.П. [3], согласно которой коэффициент теплоотдачи увеличивается с ростом плотности центров конденсации N и убывает с ростом отрывного радиуса капель R_0 :

$$\alpha \sim N^{0.25} R_0^{-0.5} \quad (1)$$

Отрывной радиус капель — это максимум на функции распределения капель по размерам.

Для решения поставленной задачи предполагается, что параметры в уравнении (1) будут найдены из экспериментальных данных. В дальнейшем планируется получить выражения для расчета плотности центров конденсации и радиуса отдельной капли с использованием характерных размеров поверхности с покрытием из наночастиц.

Литература

1. **J.W. Rose**, Dropwise condensation theory and experiment: a review., department of engineering, Queen Mary, university of London, London e1 4ns, 2002.
2. **Lefevre, E.J. and Rose, J.W.** 1966. A theory of heat-transfer by dropwise condensation. proc. 3rd int. heat transfer conf 2:362–375.
3. **Исаченко В.П., Солодов А.П., Мальцев А.П., Якушева Е.В.** Асимптотический анализ капельной конденсации, удк 621.175, 1984.

А.А. Клементьев, студент; рук. К.Б. Минко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ЧИСТОГО ПАРА НА ОДИНОЧНОЙ ТРУБЕ МЕТОДОМ VOLUME OF FLUID

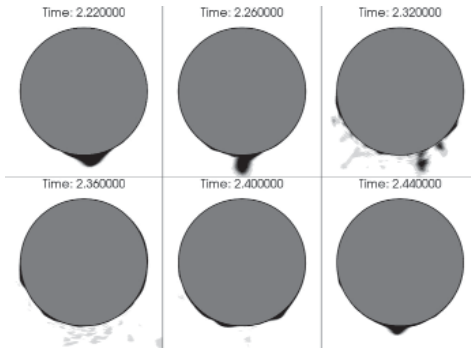


Рис. 1. Поле объемной доли жидкой фазы для нескольких временных моментов

Конденсация имеет место во многих теплообменных аппаратах. В работе представлены результаты численного анализа конденсации пара на поверхности одиночного цилиндра при различной скорости обтекания. Процесс конденсации моделировался с использованием метода Volume of Fluid (VoF), реализованного авторами [1] в открытом CFD-коде OpenFOAM [2]. Математическая модель включает в себя уравнения неразрывности, сохранения

объемной доли жидкой фазы, сохранения импульса и энтальпии смеси. Для учета фазового перехода используется метод фазового пространства, так источник член в уравнении сохранения энергии определяется итерационно:

$$S_q^{j+1} = \left\{ \begin{array}{l} \left(S_q^j + \frac{\rho c_p (T_{sat} - T^j)}{\Delta t} \right) (1 - \gamma), \text{ при } T^j \leq T_{sat} \\ \left(S_q^j + \frac{\rho c_p (T_{sat} - T^j)}{\Delta t} \right) \gamma, \text{ при } T^j > T_{sat} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где γ — объемная доля жидкой фазы, ρ , c_p — плотность и теплоемкость смеси, Δt — шаг по времени, T^j , T_{sat} — температура в контрольном объеме и температура насыщения.

Проведены численные расчеты с режимами из работы [3].

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 OpenFOAM [электронный ресурс]. URL: <https://openfoam.org> (дата обращения: 04.11.2021).
3. Cuthbertson Grant. An Experimental Investigation of Dropwise and Filmwise Condensation of Low Pressure Steam in Tube Bank // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 215(2), С. 231–243.

Т.А. Губанова, студент; А.Р. Забиров, к.т.н.;
рук. В.В. Ягов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ, Москва)

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕПЛОБМЕН ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Ранее на кафедре ИТФ МЭИ были проведены эксперименты на сферических образцах с различным коэффициентом теплоусвоения $(\rho\kappa\lambda)^{1/2}$ в условиях свободного течения жидкости и на их основе была разработана приближенная модель возникновения интенсивного теплообмена при пленочном кипении [1]. В рамках данной модели вполне естественно объясняется эффект затопленной струи. Ее интенсифицирующее влияние на процесс подтверждено в первой работе по охлаждению никелевого шара [2]. Ранее в опытах на металлах с низким теплоусвоением экспериментально было обнаружено увеличение температуры перехода к интенсивному режиму теплообмена. Целесообразно проверить действие затопленной струи на этаноле, в котором при многих сочетаниях свойств $(\rho\kappa\lambda)^{1/2}$ сферы и недогревов жидкости микро-пузырьковое кипение прежде не возникало.

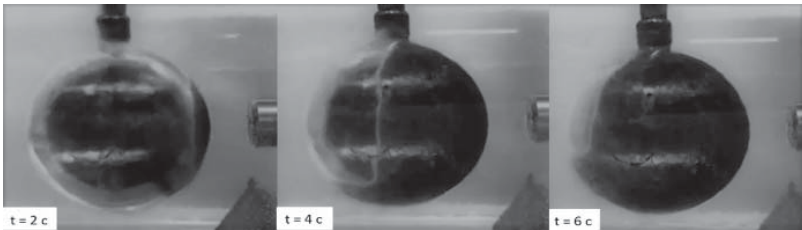


Рис. 1. Визуализация кипения на поверхности сферы из нержавеющей стали в воде при $+80^{\circ}\text{C}$ под действием затопленной струи той же жидкости

В данной работе представлены новые результаты экспериментов с охлаждением шаров из нержавеющей стали и из меди с никелевым защитным покрытием при воздействии струи в различных жидкостях при разных недогревах до температуры насыщения. Также приведено сравнение с результатами предыдущих экспериментов.

Литература

1. V.V. Yagov, A.R. Zabirov, P.K. Kanin Heat transfer at cooling high-temperature bodies in subcooled liquids. J. Heat Transfer 126 (2018) 823–830.
2. P.K. Kanin, T.A. Gubanov, A.R. Zabirov, A.V. Shcherbakov and V.V. Yagov An experimental investigation of film boiling with submerged impinging jet, 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), pp. 1–5.

А.С. Киселев, Е.А. Кулешов, студенты; рук. Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф., А.В. Лавриков, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ В МИКРОКАНАЛЕ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА

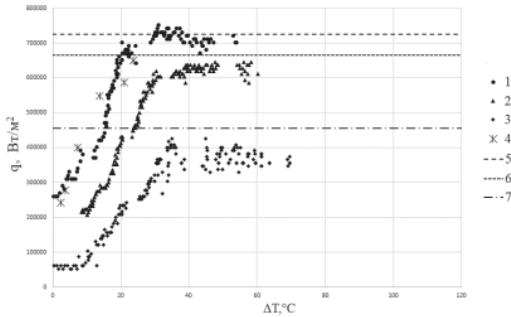


Рис. 1. Кривые кипения изопропилового спирта в микроканале скорость 0,46 м/с, давление: 1 — 80 кПа; 2 — 60 кПа; 3 — 40 кПа; 4 — та же скорость, 80 кПа, но спустя неделю; 5, 6, 7 — расчет критической тепловой нагрузки по формуле [2]: $p=80$ кПа (5); $p=60$ кПа (6); $p=40$ кПа (7)

теплоотдача в микроканале улучшается и кривые кипения сдвигаются влево.

Пунктирными линиями показаны результаты расчета критической тепловой нагрузки с использованием ранее полученной формулы [2] (Рис.1) и, как видно, достигнуто удовлетворительное согласование опытных и расчетных данных.

Литература

1. **H. Auracher, M. Buchholz** «Experiments on the Fundamental Mechanisms of Boiling Heat Transfer», J of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Vol XXVII, pp. 1–22.
2. **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 nd with coating from nanoparticles, Journal of Physics: Conference Series, al 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1683 022087

Как возможный перспективный теплоноситель для охлаждения компьютерной техники рассматриваются спирты и в работе [1] исследовано кипение в большом объеме изопропилового спирта. Однако имеющиеся данные при кипении изопропилового спирта крайне ограничены, а для кипения в микроканале отсутствуют.

В работе получены впервые кривые кипения изопропилового спирта в микроканале с размерами 12.5x3x0.2 мм. Как показывают полученные данные, с ростом давления

Е.Ю. Скотаренко, студ.; рук. О.А. Синкевич, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДИНАМИКА МАЛЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОЙ ГРАНИЦЕ ГРОЗОВОГО ОБЛАКА

Изучение таких экстремальных атмосферных явлений как смерчи и ураганы интересует многих исследователей погоды. Наличие математической модели и количественных критериев, хорошо согласующихся с данными наблюдений, позволило бы заблаговременно производить прогноз этих опасных явлений.

Предложенная в работе [1] модель «двухфазное грозное облако — влажная атмосфера» (рис. 1) обобщена на случай трехмерных малых возмущений [2]. Это обобщение позволило получить дисперсионное уравнение (2) для невязкой атмосферы (для случая $D_\mu(\omega, \mathbf{k}) = 0$), исследовать влияние трехмерных возмущений на устойчивость заряженной границы грозного облака и возможность образования торнадо [1].

$$D(\omega, \mathbf{k}) = D_0(\omega, \mathbf{k}) - D_\mu(\omega, \mathbf{k}) = 0, \quad (1)$$

$$D_0(\omega, \mathbf{k}) = \omega^2 - gk_z \frac{\rho_a - \rho_f}{\rho_f + \rho_a} + \frac{\sigma^2 k_z^2}{4\epsilon_0(\rho_f + \rho_a)} \frac{\epsilon'_f - \epsilon'_a}{\epsilon'_f \epsilon'_a}. \quad (2)$$

Здесь ω — собственная частота возмущений границы; $k = k(k_x, k_y, k_z)$ — волновой вектор; $k_z^2 = k_x^2 + k_y^2$; g — ускорение свободного падения; $\rho_a, \rho_f, \epsilon'_a, \epsilon'_f$ — плотности и диэлектрические проницаемости атмосферного воздуха (a) и облака (f); σ — поверхностная плотность электрического заряда границы; ϵ_0 — диэлектрическая постоянная.

Литература

1. Синкевич О.А. О неустойчивости электрически заряженной границы двухфазного грозного 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 грозного облака. Диссертация бакалавра. НИУ МЭИ. 2021. 47 с.

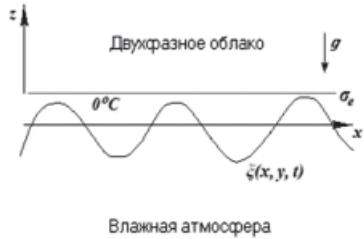


Рис. 1. Модель границы грозного облака, испытывающей двумерные возмущения $\xi(x, y, t)$, направленные вдоль оси z

*Е.М. Шенягин, студ.; Н.А. Лучинкин, асп.;
рук. И.А. Беляев, к.т.н. (НИУ МЭИ, Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Жидкие металлы остаются экзотичными, но много обещающими теплоносителями. Их эксплуатация происходит при больших тепловых нагрузках и в таком случае термогравитационная конвекция может оказывать серьезное влияние на поведение потока.

Данная работа посвящена систематизации экспериментальных исследований вертикальных каналов с подъемным и опускным течением. Ртуть выполняла роль модельной жидкости. Эксперименты проводились с использованием погружных зондов. По их результатам были восстановлены профили среднемассовой температуры и её пульсаций. Все результаты представлены в виде зависимости относительного числа Нуссельта Nu/Nu_T от числа Ричардсона Ri .

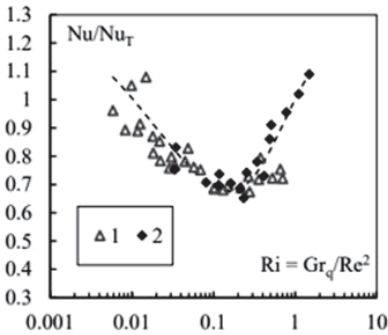


Рис. 1. Осредненная теплопередача в вертикальной трубе при подъемном течении от числа Ричардсона:

- 1 — $Re = 10^4 - 5 \cdot 10^4$ [2];
2 — пересчитанные данные из [1]

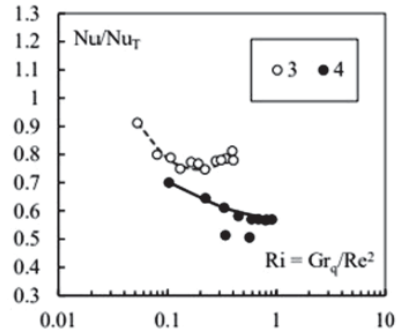


Рис. 2. Осредненная теплопередача в вертикальной трубе при опускном течении от числа Ричардсона:

- 3 — $Re = 10^4$;
4 — $Re = 2 \cdot 10^4$

Результаты исследования продемонстрировали, что влияние термогравитационной конвекции на течение жидкого металла в вертикальных каналах приводит проявляется неоднозначно, вызывая увеличение или уменьшение теплоотдачи. Продемонстрированы основные сценарии, наблюдаемые экспериментально для нескольких основных геометрий канала, таких как круглые и каналы прямоугольного сечения с различными способами обогрева.

Литература

1. **Buhr Н.О., Horsten Е.А., Carr А.Д.** The distortion of turbulent velocity and temperature profiles on heating, for mercury in a vertical pipe. — 1974.
2. **Лучинкин Н.А. и др.** Теплообмен в жидком металле при подъемном течении в трубе в поперечном магнитном поле // Теплофизика высоких температур. — 2020. — Т. 58. — №. 3. — С. 426–436.

*В.Э. Зинуров, асп.; А.Р. Галимова, В.А. Суганова, студенты;
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В КЛАССИФИКАТОРЕ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ

Перед авторами работы была поставлена задача разработки и создания энергоэффективного классификатора для фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля, получение которого осуществляется путем его дробления в мельницах, размером до 30 мкм из газового потока, в производственной линии предприятия «Салаватский катализаторный завод». Большинство классических аппаратов невозможно использовать для решения поставленной задачи, так как они не предназначены для фракционирования мелкодисперсных порошкообразных материалов.

Для решения поставленной задачи авторами работы была разработана конструкция классификатора с соосно расположенными трубами [1–3].

Проведенные исследования показали, что применение численного моделирования при разработке аппаратов может существенно упростить данный процесс и снизить экономические затраты. В ходе исследований было установлено, что наиболее, верно, подобранная модель турбулентности в сочетании с определением наиболее оптимального количества ячеек в расчетной геометрии способствует ускорению численного моделирования газодинамических процессов в разрабатываемом устройстве.

В докладе представлены результаты численного моделирования: зависимость селективности классификатора и гидравлического сопротивления устройства от входной скорости газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2710.2021.4

Литература

1. **Zinurov V.E., Dmitriev A.V., Ruzanova M.A., Dmitrieva O.S.** Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // MATEC Web of Conferences. — 2020. — V. 193. — P. 01056.
2. **Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В.** Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. — 2021. — № 2. — С. 205–211.
3. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р., Биккулов Р.Я., Мадышев И.Н.** Оценка энергетических затрат при улавливании мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2021. — Т. 25. — № 2. — С. 196–206.

*Н.С. Иванов, студ.; рук-ли Ю.А. Кузма-Кичта, д.т.н., проф.,
А.В. Лавриков, к.т.н., доцент (МЭИ)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИСПАРИТЕЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА

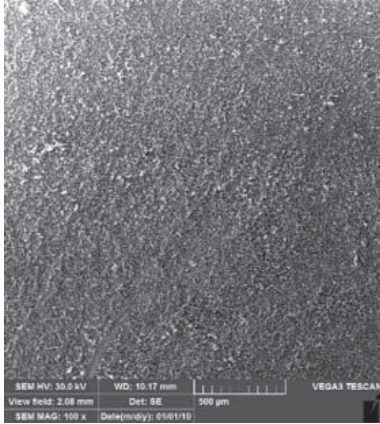


Рис. 1. Слой наночастиц
на металлической подложке

В планы развития экономики Российской Федерации входит освоение Арктики и крайнего севера, что предполагает строительство объектов инфраструктуры, жилых помещений и инженерных конструкций на мерзлом грунте. Как известно, строительство в регионах вечной мерзлоты сопряжено с явлением таяния грунта из-за тепловыделения. Для решения проблемы применяют термостабилизаторы. Актуальной — является задача снижения термического сопротивления термостабилизаторов различных конструкций[1]. Известно, то нанесение наночастиц оксида алюминия снижает термическое сопротивление модели термостабилизатора на 10–20% и повышает коэффициент теплоотдачи при испарении до 50%. Исследование свойств покрытий, сформированных из микро и наночастиц позволит расширить имеющиеся данные и найти решение для использования в термостабилизаторах. В работе были исследованы капиллярные свойства покрытий из наночастиц оксида алюминия, алмаза и их комбинации. Установлена высота капиллярного поднятия и краевой угол смачивания для данных покрытий. Исследовано влияние размеров наночастиц оксида алюминия и их агломератов на транспортные свойства покрытия. Проведена РЭМ-фотосъемка поверхностей.

Исследование свойств покрытий, сформированных из микро и наночастиц позволит расширить имеющиеся данные и найти решение для использования в термостабилизаторах. В работе были исследованы капиллярные свойства покрытий из наночастиц оксида алюминия, алмаза и их комбинации. Установлена высота капиллярного поднятия и краевой угол смачивания для данных покрытий. Исследовано влияние размеров наночастиц оксида алюминия и их агломератов на транспортные свойства покрытия. Проведена РЭМ-фотосъемка поверхностей.

Литература

1. **Кузма-Кичта Ю.А., Иванов Н.С., Лавриков А.В., Штефанов Ю.П., Прокопенко И.Ф.** «Исследование методов уменьшения термического сопротивления составного термостабилизатора», Тепловые процессы в технике № 10 2019 Т.11, стр. 447.
2. **Karen Cacia, Robison Buitrago-Sierra** «Surfactant effect in the thermal performance of a two-phase thermosyphon using Al₂O₃ nanofluid», Joint 19th IHPC and 13th IHPS, Pisa, Italy, June 10–14, 2018.
3. **Dzyubenko B.V., Kuzma-Kichta Ya.A., Leontiev A.I., Fedik I.I., Kholpanov L.P.**, «Intensification of Heat and Mass Transfer on Macro-, Micro-, and Nanoscales», Begell House, ISBN: 978-1-56700-284-3

А.Е. Ковалев, студ.; рук. О.Д. Захарова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)»

БАЗА ДАННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Полимерные материалы прочно вошли в жизнь современного общества, не только облегчив жизнь, но и создав дополнительную проблему утилизации отработанных материалов. Все циклы рециклинга и повторного использования полимерных изделий и упаковки в конечном итоге приводят к изнашиванию и потере потребительских свойств исходного сырья. В итоге, возникает проблема безопасной утилизации отработанных полимеров или на полигонах или на мусоросжигательных заводах.

Для правильного расчета процессов сжигания твердого топлива необходимо располагать знаниями о таких теплофизических свойствах, как теплоемкость и теплопроводность исходного материала. Обычно при расчетах берут некие средние значения, полученные из анализа общего состава ТБО. Как правило, в ТБО, собираемых городскими службами, доля пластиков имеет небольшой процент (основная масса — органика, бумага, дерево, ткани). Создается впечатление, что сжигание ТБО мало отличается от сжигания древесины и не должно вызывать опасения у населения. Задача данной работы — рассмотреть сжигание ТБО в предположении, что они состоят исключительно из пластика заданного вида и детально описать все стадии горения. На первом этапе предполагается использовать методики, отработанные при рассмотрении процессов горения угля [1]. Решение задач нагрева, воспламенения и горения требует знания основных теплофизических свойств наиболее известных полимеров: полиэтилена, полипропилена, полистирола и т.д. [2–5]. С этой целью была составлена база данных основных теплофизических свойств полимеров, проведено сравнение экспериментальных значений, приведенных разными авторами, рассмотрены результаты теоретических расчетов, составлены таблицы основных температурных интервалов деструкции пластиков и процессов, возникающих при данных температурах. Особое внимание уделено процессам испарения и газификации пластиков с нагревом. Исследованы вопросы изменения свойств в связи с «изнашиванием» пластиков в процессе эксплуатации.

Литература

1. **В.В. Померанцев.** Основы практической теории горения. Л.: Энергоатомиздат, 1986.
2. **Годовский Ю.К.** Теплофизика полимеров. М.: Химия, 1982.
3. **В.М. Сулягин.** Основные свойства полимеров. Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
4. **Р.М. Асеева.** Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981.
5. **Г.М. Бартнев.** Физика и механика полимеров. М.: Высш. Школа, 1983.

Б.Б. Абдуллаев, студ.;
рук. М.Д. Нащёкин, м.н.с. (НИЦ «КИ», Москва)

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ В БАССЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ НА АЭС С ВВЭР

Анализ тяжелых запроектных аварий на АЭС проводится при помощи специализированных программных кодов. В соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии [1] расчёты, выполняемые при помощи программ для ЭВМ, должны сопровождаться оценкой погрешностей и неопределенностей результатов детерминистических анализов безопасности атомных станций.

В настоящее время широкое распространение в мире получила методология BERTU (Best Estimate Plus Uncertainty) [2], когда для моделирования запроектных аварий с плавлением топлива используются коды улучшенной оценки, а результаты расчета сопровождаются анализом неопределенности и чувствительности. При этом определяются основные источники неопределенностей, диапазоны изменения исследуемых параметров при варьировании входных значений, а также находятся степени влияния каждого входного параметра на исследуемый выходной параметр.

В данной работе выполнено моделирование тяжелой аварии в бассейне выдержки на АЭС с ВВЭР с использованием тяжелоаварийного интегрального кода улучшенной оценки СОКРАТ/В1. Проведены варианты расчёты и статистическая обработка их результатов, обосновывающая границы толерантных интервалов исследуемых параметров, важных для безопасности АЭС. Проанализированы основные выходные параметры, такие как: время обрушения ТВС, масса водорода, средняя парогенерация, масса оксида циркония и концентрация борной кислоты. Для определения входных параметров, оказывающих наибольшее влияние на результаты расчетов, были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15): ФБУ «НТЦ ЯРБ»
2. Best estimate safety analysis for nuclear power plants: uncertainty evaluation. Safety reports series. ISSN 1020-6450. No 52. Vienna: International Atomic Energy Agency. 2008

*Е.А. Герасимова, студ. (НИУ «МЭИ»);
рук. О.И. Коновалов, лаборант-исследователь (НИЦ КИ, Москва)*

РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА ГЕНЕРАЦИИ РАДИОЛИТИЧЕСКОГО ВОДОРОДА В ХОДЕ РАЗВИТИЯ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ В БАССЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ НА АЭС С ВВЭР

Обоснование водородной взрывобезопасности при проектировании и эксплуатации АЭС является важной задачей. В соответствии с федеральными нормами [1] при таком обосновании необходимо учитывать все возможные источники водорода, в том числе за счет радиолиза теплоносителя.

В работе представлены результаты расчетной оценки количества водорода, выделившегося при радиолизе под действием γ - и β -излучения продуктов деления в жидкой фазе (в бассейне выдержки) и в паровой фазе (в объёме защитной оболочки) при запроектной аварии в бассейне выдержки на АЭС с ВВЭР.

Методология расчета количества радиолитического водорода основана на радикально-диффузионной теории [2], согласно которой в результате воздействия ионизирующего излучения на воду образуются химические активные элементы. Реакции этих химически активных частиц между собой и другими растворенными веществами определяют макроизменения, происходящие с водой при воздействии ионизирующих излучений: а именно, выделение радиолитического водорода; окислительно-восстановительные процессы с участием растворенных веществ и др.

В результате расчетной оценки получено, что в ходе аварии за счет радиолиза теплоносителя в жидкой и паровой фазах выделяется 4 кг водорода.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции» (НП-040-02), 2003.
2. **Кабакчи С.А., Булгакова Г.П.** Радиационная химия в ядерном топливном цикле. М.: Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1997.

Т.С. Курноскин, студент; рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КРИОГЕННЫЕ ТОПЛИВО И ОКИСЛИТЕЛЬ, С ПОЛНОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

В настоящее время сжиженный природный газ (СПГ) производится, перевозится и используется в больших товарных количествах (десятки млн. т.). Основное использование СПГ — в качестве топлива, однако, как правило, используется он уже в газифицированном виде (газификация осуществляется в портах разгрузки СПГ). Как представляется, такое использование является нерациональным, так как значительный хладоресурс СПГ (температура кипения — 163°C) практически не используется. С другой стороны, в современной энергетике нарастают две тенденции [1]. Во-первых, параметры пара на новых ТЭС становятся сверхкритическими, что повышает термодинамический КПД станции до 45–50%. Во-вторых, в энергетике и в промышленности в целом, нарастает стремление использовать в качестве окислителя не воздух, а кислород. Это позволяет решить проблему с эмиссией в атмосферу окислов азота, сокращая, одновременно, объем отходящих газов. Одновременно с этим ко всем индустриальным державам набирают силу требования уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу.

В настоящее время возникает возможность воплотить в жизнь все вышеуказанные тенденции в газотурбинных (ГТУ) транспортных и энергетических установках, использующих криогенные топливо и окислитель, с полной конденсацией отходящих газов. С одной стороны, использование жидкого кислорода и СПГ в ГТУ позволяет без больших энергозатрат поднять рабочее давление в цикле до 45–50 МПа, при сохранении того же уровня температуры в камере сгорания, что резко увеличивает термодинамический КПД установок. Криогенные насосы большой производительности на эти параметры давно созданы и интенсивно эксплуатируются в космической технике [2].

С другой стороны, большой хладоресурс, которым обладают жидкие СПГ и кислород, позволяют осуществить полную конденсацию отходящих газов ГТУ. Последние состоят из углекислого газа и водяного пара и при уровне температур в конденсаторе –120°C имеется возможность не только сконденсировать эти оба компонента, но и поддерживать в конденсаторе давление на уровне 5–10 кПа, как в паровых турбинах, что еще более поднимает КПД энергоустановки. Получение твердой углекислоты («сухого льда») при работе энергоустановки позволит организовать ее складирование, с возможностью ее последующей закачки в подземные хранилища. Закачка углекислоты в подземные горизонты в жидком/твердом состоянии требует на несколько порядков меньше энергозатрат, чем закачка газа. Это позволит сделать данную процедуру намного экономически привлекательнее, чем в настоящее время.

В докладе рассматриваются различные возможные схемы транспортных и стационарных энергетических установок, использующих криогенные топливо и окислитель, с полной конденсацией отходящих газов. Проведены оценки резуль-

тирующего КПД установок. Сделан вывод о перспективности работ в данном направлении. Рассмотрены существующие энергоустановки, в первую очередь ракетные двигатели [2] и анаэробные энергетические установки на подводных лодках [3], использующие криогенные топливо и окислитель.

Литература

1. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Турбины тепловых и атомных электрических станций. М.: Издательство МЭИ, 2001.
2. **Добровольский М.В.** Жидкостные ракетные двигатели. М.: МГТУ, 2006.
3. <http://www.dcnsgroup.com/files/pdf/Mesma.pdf>

А.А. Верголасов, студ.;
рук. В.В. Глазков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Целесообразное техническое обслуживание и своевременный — по факту состояния, а не после аварийного режима, ремонт, способны существенно продлить срок службы энергетических установок, газовых турбин, авиационных двигателей и другого дорогостоящего оборудования, а также существенно сократить затраты на его содержание. Это происходит за счет сокращения количества различного рода регламентных работ и осмотров, а также снижения расходов на устранение последствий внеплановых остановок и т.п.

Задачи диагностики режимов работы и предотвращения аварийных ситуаций на энергетических установках и в теплофизических экспериментах, могут решить нейросетевые технологии [1], которые успешно зарекомендовали себя в различных сферах деятельности человека.

В работе сформулированы основные принципы строения искусственного нейрона, рассмотрены простейшие нейронные сети на примере перцептрона и возможности для реализации определённых классов задач, а также рассмотрены определенные свойства, которые присущи искусственным нейронным сетям, такие как обучение, обобщение и абстрагирование, а также выполнен обзор теплофизического оборудования, для которого использование нейронных сетей для выполнения диагностики является особенно актуальным [2]. Рассмотрены основные параметры оборудования, необходимые искусственным нейронным сетям для анализа. Рассмотрены примеры анализа и реализации подходящей нейронной сети для решения поставленной задачи.

Литература

1. **Уоссермен Ф.** Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир. 1992.
2. **Горбунов В.А.** Использование нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок. Иваново. «ПрессСто». 2011.

П.И. Поляков, студ.; рук. И.О. Теляков, к.т.н. (Москва, ОИВТ РАН)

ТАРИРОВОЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ДАТЧИКОВ СКОРОСТИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА

В свете нарастающего интереса к жидкометаллическим батареям, для целей электрометаллургической промышленности, а также увеличивающейся потребности в атомных реакторах с жидким металлом в качестве охладителя, необходимы градуированные датчики измерения скорости среды [1]. В данной работе предложена конструкция тарировочной установки датчиков скорости, состоящая из сосуда с жидким металлом (ингасом), насоса для жидкого металла, сопла для стабилизации течения, опытного участка, на котором производится тарировка датчика, и электронных весов с выводом данных на ЭВМ [2].

Спроектирована конструкция кондукционного насоса, состоящего из корпуса, крышки, электродов и постоянного магнита [3]. Достоинством кондукционного насоса является его более высокий КПД по сравнению с по сравнению с другими электромагнитными системами создания расхода.

Методом контрольного объёма проведено численное моделирование элементов установки. Показано, что расход, создаваемый кондукционным насосом, достаточен для тарировки имеющихся датчиков.

Расчитанные и теоретические значения расхода жидкого металла в насосе показали удовлетворительное совпадение.

Проведены тарировочные опыты с использованием волоконно-оптического и термокорреляционного датчиков для последующих экспериментов по измерению скорости в жидком металле внутри полусферического сосуда, моделирующего электродуговую печь.

Литература

1. **Termaat, K.P.** Fluid flow measurements inside the reactor vessel of the 50 MWe Dodewaard nuclear power plant by cross-correlation of thermocouple signals. *J. Phys. E: Sci. Instrum* 1970, 3, 589–593.
2. **Belyaev, I.A.; Razuvanov, N.G.; Sviridov, V.G.; Zagorsky, V.S.** Temperature correlation velocimetry technique in liquid metals, *Flow Measurement and Instrumentation* 2017, 55, 37–43.
3. **А.И. Вольдек.** Индукционные магнитогидродинамические машины с жидко-металлическим рабочим телом. Л.: Энергия, 1986.
4. **Д.В. Снитков.** МГД-устройство для транспортирования, дозирования и подогрева жидких металлов — магистерская диссертация. Красноярск: СибФУ, 2016.
5. **Zhilin, V.G.; Ivochkin, Yu.P.; Oksman, A.A.; Lurin'sh, G.R.; Chaikovskii, A.I.; Chudnovskii, A.Yu.; Shcherbinin E.V.** An experimental investigation of the velocity field in an axisymmetric electrovortical flow in a cylindrical container. *Magneto hydrodynamics* 1986, 22, 323–328.

*А.Р. Ахмадуллина, С.М. Юдин, студенты;
рук. Ю.П. Ивочкин, д.т.н., (Москва, ОИВТ РАН)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ИНДУКТОРЕ

Индукционный нагрев может быть использован для исследования многих важнейших научных и экологических проблем, включая утилизацию и переработку космического мусора [1] и замену углеводородного топлива на металлы [2].

В процессе представленного исследования были проведены эксперименты по индукционному нагреву и плавлению различных образцов металла, а также создана модель проведенного эксперимента в программе для решения физических задач методом конечных элементов. В эксперименте использовались кольцевой индуктор и образец — металлический шар диаметром 10 мм на керамической подставке в центре индуктора. Показано, что нагрев некоторых сталей сопровождается интенсивным искрообразованием — выбросом мелких вторичных капель (искр) из нагреваемой первичной капли в окружающее пространство. Предельная температура нагрева образца 2500 К. Измерения температуры поверхности образцов проводились посредством спектрометра.

Предложен возможный механизм этого малоизученного процесса, основанный на учете как тепловых, так и магнитогидродинамических [3, 4] процессов. Для численного расчета использовалась упрощенная модель экспериментальной установки, состоящая из металлического шарика и одновиткового индуктора. Получены распределения температуры и плотности электрического тока. Проведено сравнение результатов численного моделирования и эксперимента, которое показало их качественное совпадение.

Авторы выражают благодарность Д.О. Лазареву, Е.К. Титареву и П.А. Дергачеву за помощь в построении численных моделей.

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. **Bergthorson J.M.** Recyclable metal fuels for clean and compact zero-carbon power // *Prog. Energy Comb. Sci.* 2018 68.
3. **Егиазарян А.С.** Электродинамические процессы при индукционном нагреве / А.С. Егиазарян, Л.С. Зимин // *Вестн. Самар. Гос. Техн. Ун-та. Сер. Технические науки*, 2016. № 1 (49).
4. **Nagel J.R.** Induced eddy currents in simple conductive geometries // *IEEE Antennas Propag. Mag.* 2018. FEBRUARY

*К.С. Ковешников, студ.;
рук. И.О. Тепляков, к.т.н. (Москва, ОИВТ РАН)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ИНДУКТОРЕ КОНИЧЕСКОГО ТИПА

Технология индукционной плавки широко распространена в металлургии на сегодняшний день. Металл в индукторе плавится под действием переменного магнитного поля высокой частоты. При определённом наборе начальных параметров, таких как частота магнитного поля, сила тока индуктора и форма индуктора, возникает эффект левитации нагреваемого тела, что позволяет избежать контакта металла со стенками тигля и повысить чистоту расплава, избегая попадания примесей в образец. Переменное магнитное поле вызывает такое явление как скин-эффект. Под влиянием скин-эффекта ток вытесняется в тонкий поверхностный слой металла, из-за этого металл в поверхностном слое нагревается интенсивнее, чем металл в глубине образца. Данное явление можно использовать для поверхностной закалки деталей.

В работе исследуется механизм плавления металла в коническом индукторе. Задача плавления металла численно решается с использованием модели Воллера-Пракаша. Исследуются электровихревые течения, возникающие в жидком металле из-за переменного магнитного поля. Моделируется профиль поля скорости жидкого металла в образце. В работе рассматривались две постановки задачи: осесимметричная и трехмерная. Осесимметричная задача была поставлена для приблизительной оценки результатов ввиду простоты численных и аналитических расчётов [1]. Трёхмерная постановка задачи необходима для получения общих практических результатов, приближенных к реальности. По результатам работы была получена и исследована зависимость массы металла, левитирующего в магнитном поле индуктора от мощности последнего. Исследованы зависимости тепловыделения в металлической сфере от её радиуса и частоты внешнего магнитного поля. Для численного моделирования воздействия переменного магнитного поля на нагреваемый образец, написана программа для вычисления компонент магнитного поля от произвольного проводника на языке C++.

Литература

1. **James, R.N.**, “Induced eddy currents in simple conductive geometries: mathematical formalism describes the excitation of electrical eddy currents in a time varying magnetic field”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 60, no. 1, pp. 81–88, 2017.

Секция 42
ТЕХНИКА И ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
Technologies and physics of low temperatures

Председатель секции: д.т.н., профессор Крюков Алексей Павлович

Секретарь секции: Сидоров Александр Андреевич

Л.А. Пинк, студ.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УРАВНЕНИЯ РЭЛЕЯ В ПРИБЛИЖЕНИИ ДВУХЖИДКОСТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Задача о росте паровой полости в перегретой жидкости представляет большой интерес как для практических применений, так и в теоретическом плане для понимания основных закономерностей процессов кипения. В общей постановке рост каверны в жидкости определяется совокупностью различных факторов — подводом тепла от жидкости к паровой фазе, кинетическими процессами на межфазной поверхности, гравитационными силами и пр. В данной работе рассматривается эволюция пленки пара, образующейся при кипении сверхтекучего гелия на цилиндрическом нагревателе, помещенном внутрь пористой коаксиальной оболочки.

Известно, что для описания роста газовой полости в жидкости используется уравнение Рэлея-Плессета. Однако, оно выведено и справедливо для классических жидкостей. Применительно к сверхтекучему гелию, необходимо адаптировать это уравнение с учетом нормального и сверхтекучего движений. В связи с этим в [1] уравнение Рэлея было преобразовано с использованием выражения для тензора плотности потока импульса в квантовой жидкости. Это уравнение решалось в настоящей работе.

На основе двухскоростной модели He-II также записываются универсальные условия совместности на границе раздела фаз и выражения для разности давлений и теплового потока в пористой структуре. Градиент температур в жидкости описывается полуэмпирической теорией Гортера-Меллинка.

Таким образом, получена система уравнений, описывающая динамику пленки пара и соответствующие процессы теплопереноса. Решение осуществляется численно, а полученные результаты доказывают, что такая форма записи справедлива для определения эволюции паровой полости в объеме сверхтекучего гелия в стесненных условиях.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-19-00321).

Литература

1. **Nemirovskii S.K.** Cavity evolution and the Rayleigh-Plesset equation in superfluid helium // Physical review B 102, 2020, 064511.

В.А. Новиков, аспирант; рук. А.П. Крюков, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕВИТИРУЮЩЕЙ КАПЛИ И ИХ ПОВЕРКА

Несмотря прошлые исследования, использующие потенциал акустической левитации (АЛ), механизм испарения капель в акустическом левитаторе все еще неясен, как и его применимость для исследования процесса испарения. Основными целями работы являются:

- 1) проведение экспериментов по испарению капель жидкости в условиях (АЛ) с целью измерения их термодинамических параметров и подтверждения гипотезы о резком повышении температуры поверхности капель на финальном этапе испарения [1];
- 2) оценка применимости метода АЛ при исследовании процесса испарения.

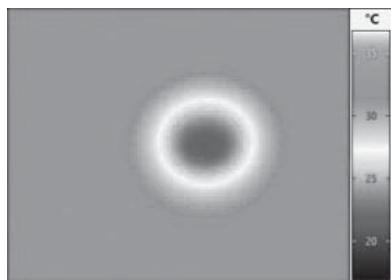


Рис. 1. Пример съемки на тепловизор Infracore ImageIR

Измерения проводились на основе массива фотографий, снятых через равный интервал времени. Съемка осуществлялась с трех углов (тепловизор Infracore ImageIR (рис. 1) и две фотокамеры). Были получены данные об изменении температуры и радиуса, испаряющейся капли воды. Полученные данные были обработаны и на их основе были построены зависимости температуры и радиуса капли от времени испарения. Температура, атмосферное давление и влажность воздуха известны.

Были проведены поверочные измерения (рис. 2). Главной задачей поверочного эксперимента было воссоздать условия максимально приближенные к эксперименту с использованием АЛ и, используя ту же методику проведения эксперимента и расчетную модель, получить зависимости изменения радиуса от времени. Таким образом, влияние АЛ было исключено при неизменности других аспектов эксперимента (с некоторым допущением), что позволило оценить влияние АЛ на процесс испарения капли жидкости.

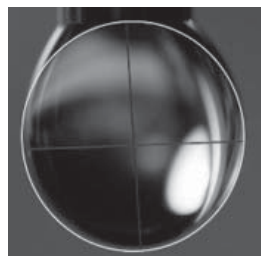


Рис. 2. Поверочный эксперимент

Литература

1. В.Ю. Бородулин, В.Н. Летушко, М.И. Низовцев, А.Н. Стерлягов. Экспериментальное исследование испарения капель водно-спиртовых растворов. Коллоидный журнал, 2019, Т. 81, № 3, стр. 289–295.

*А. Т. Барановский, студ. ;
рук. А. В. Бухаров, д. т. н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДОНОРСКОГО СЕРДЦА ПОСЛЕ ЕГО ИЗЪЯТИЯ

В настоящее время значительно возросла потребность в трансплантации органов, поэтому остро встали вопросы по повышению эффективности процессов консервации органов до момента их пересадки.

Одним из направлений по повышению эффективности процессов консервации органов является разработка численных моделей, адекватно описывающих процессы охлаждения органов после их изъятия [1].

Разработка таких моделей позволит в рамках численного моделирования, при минимуме экспериментов с живыми органами, определить наиболее эффективные методы охлаждения.

В данной работе представлено подробное описание математической модели охлаждения сердца, разработанной на базе программного пакета

Phoenics и следующей системы математических уравнений:

- 1) Уравнение Навье-Стокса

$$\operatorname{div}(\rho \vec{u} \otimes \vec{u} - \mu \nabla \vec{u}) = -\nabla P + \xi * \vec{u}$$

- 2) Уравнение энергии

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \operatorname{div}[\rho C_p \vec{u} T - \lambda \operatorname{grad}(T)] = 0$$

- 3) Граничные условия третьего рода

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = \alpha(T - T_{\text{ос}})$$

В работе представлены результаты численных расчётов с использованием разработанной модели. Проверялось влияние окружающей среды на ход охлаждения, путём сравнения двух расчётов. Было выбрано предварительное расположение термопар, в этих точках было зафиксировано изменение температур. Также был проведён расчёт, где сочеталось внутреннее охлаждение сердца с обкладкой его внешней поверхности гранулами.

Литература

1. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ), под редакцией Петровского Б.В., 3-е издание «Консервирование органов и тканей».

*Е. Евко, студ.; конс. И.А. Ячевский;
рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИЯ-II В U-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ

Изучение теплопередачи в He-II представляет большой интерес из-за значительного влияния на процесс квантовых эффектов. Поэтому на кафедре низких температур уже длительное время проводятся исследования поведения межфазной границы He-II-пар в различных условиях. В одном из таких экспериментов было показано, что в капилляре большой длины жидкий гелий, в отличие от других жидкостей, может двигаться в сторону нагревателя [1]. На основе этого вывода была выдвинута гипотеза, что засыпка из монодисперсных шариков малого диаметра в коротком канале может представлять собой аналог длинного капилляра, также позволяя получать движение гелия к нагревателю. Для проверки этого предположения были проведены опыты по кипению сверхтекучего гелия внутри U-образной трубки с шариками $d = 280$ мкм [2].

Данная работа описывает разработку новой экспериментальной системы с возможностью более подробной фиксации процессов внутри криостата — регистрацией температуры жидкости и нагревателя, давления и уровня гелия, нагрузки нагревателя. Для этого были подготовлены две идентичные ячейки, представляющие собой U-образные хлоркальциевые трубки ТХ-У исп.1 19/26, у каждой из которых один конец герметично закрыт теплоизолирующей пробкой. На внутренней поверхности пробки установлен нагревательный элемент, который представляет собой керамическую подложку диаметром 13 мм со спиральной намоткой из нихромовой нити (50 мкм), равномерно передающей тепловую нагрузку через теплопроводящую пасту на тонкий (~0.5 мм) латунный диск диаметром 10 мм, поверхность которого находится в контакте с He-II. Для фиксации температуры нагревателя была изготовлена, проградуирована и смонтирована в латунный диск термопара медь-константан. В нижнюю часть одной трубки помещаются шарики Pb96%Sb4% диаметром 240 ± 5 мкм в качестве пористой структуры, а вторая трубка остается пустой для изучения влияния засыпки на процессы формирования и движения межфазной границы.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-19-00321)

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

И.С. Городнов, асп.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ НА ЁМКОСТНЫХ ДАТЧИКАХ

Представлена оригинальная система для измерения уровня жидкого ^4He , применяемая для измерения степени наполнения жидким ^4He объёмов сепаратора и испарителя в криостате растворения $^3\text{He}/^4\text{He}$. Система является работоспособной при любых условиях, в которых одновременно существуют жидкостная и паровая фазы гелия, в том числе при наличии сверхтекучего гелия. Уровень измеряется непрерывно, с локальными скачками измеряемой ёмкости на уровне датчиков.

Принцип измерения уровня основан на измерении ёмкости системы обкладок, представляющих собой конденсатор: с одной стороны, корпус объёма и 4 горизонтально расположенных на различных высотах цилиндра, а с другой стороны, 4 трубки, расположенные на цилиндрах на керамических шариках, и жила, соединяющая 4 трубки, и выходящая из корпуса через стеклянный глазок. При заполнении зазоров и паразитных объёмов паровой или жидкостной фазой, которые выполняют роль диэлектрика, ёмкость конденсатора изменяется, вследствие различий относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) жидкой и паровой фаз [1]. Очень удобным является тот факт, что ϵ паровой фазы гелия в докритической области и ϵ воздуха отличается от единицы гораздо слабее, чем от ϵ жидкой фазы. Ёмкость откачанного, заполненного воздухом и заполненного газообразным ^4He объёма отличается от объёма, заполненного жидким ^4He на 4.8% (при давлении равном и ниже атмосферного), что позволяет измерять уровень с большой точностью простыми измерительными устройствами, а также упрощает изготовление и калибровку.

Плюсами системы являются: единый канал (и кабель) измерения для одного объёма; непрерывность измерения уровня; удобные опорные точки для калибровки, отсутствие нагревателей; надёжность системы; возможность измерять уровень ^4He , ^3He и смеси $^3\text{He}/^4\text{He}$, доступные средства измерения.

Минусы такой системы: необходимость проводить триаксиальный кабель (для компенсации ёмкости измерительной линии) от измерительного прибора до корпуса измеряемого объёма и наличие теплопритока по такому кабелю; невозможность обеспечить ремонт без вскрытия корпуса; паразитная ёмкость, уменьшающая точность измерения.

Литература

1. **R. Sawada et al.** Capacitive level meter for liquid rare gases. *Cryogenics* 43 449–450, 2003. DOI:10.1016/S0011-2275(03)00100-0.

А.В. Рудов, студ.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ)

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD ПАКЕТА ANSYS FLUENT

В данной работе рассмотрен блок охлаждения подложки для плазменной камеры, представляющий собой двухконтурный теплообменный аппарат, предназначенный для поддержания фиксированной температуры на внешней поверхности теплообменника при большом внешнем тепловом потоке. Цель работы заключалась в определении того, может ли блок охлаждения отвести требуемый тепловой поток, а также возможно ли кипение жидкости внутри теплообменника.

Методика аналитического расчета базировалась на подходах, изложенных в [1]. Расчет по тепловому балансу показал, что жидкость не нагревается до температуры насыщения. Однако тепловой поток, который жидкость может отвести за счет вынужденной конвекции, существенно ниже заданной тепловой нагрузки, вследствие чего должно наблюдаться кипение недогретой жидкости с возможной последующей конденсацией образовавшегося пара. В такой ситуации важно не допустить пленочного кипения, при котором из-за низкого коэффициента теплоотдачи температура подложки может достигать очень высоких значений, превышающих допустимое значение. По результатам оценочного расчета максимальная плотность теплового потока не превышает критического значения, что позволяет сделать предварительный вывод об отсутствии пленочного кипения.

Расчет в студенческой версии ANSYS FLUENT подтвердил наличие пузырькового кипения вблизи горячей стенки с дальнейшей конденсацией водяного пара в недогретой жидкости внутри объема теплообменника. Температура стенки теплообменника не превысила 1000 градусов Цельсия, следовательно можно говорить о том, что теплообменник справляется с отводом теплового потока.

Литература

1. **Григорьев В.А., Крохин Ю.И.** Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники. М.: Энергоиздат, 1982. — 312 с., ил.

*Л.О. Асланян, студент; конс. А.А. Сидоров;
рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОЖИЖИТЕЛЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА

С увеличением потребления природного газа, большую актуальность приобретают сжижающие установки. При сжижении газа, его объем уменьшается в 600 раз, что гораздо удобнее для транспортировки и хранения. Большой трудностью является доставка газа с месторождения до завода для ожижения. Нефтегазовой отрасли диктуется необходимость в передвижных, легкомонтируемых комплексах малотоннажного производства (1–20 т/ч) контейнерного типа [1], что также укладывается в рамки проекта по импортозамещению.

Целью проекта является создание отечественного, более совершенного аналога мобильных установок по ожижению природного газа

Постановка задачи выглядит следующим образом: рассматривается течение природного газа через совокупность узлов, составляющих малотоннажную установку по сжижению природного газа. Для проектирования такой установки необходимо знать состояние газа на входе: давление [бар], температуру [°C], расход [м³/ч]. Газ необходимо будет охладить до –162°C, предусмотреть влияние низкой температуры на теплообменник, а также очистить ПГ от ненужных примесей и 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. Для некоторых критичных узлов проведен термогазодинамический расчет методами конечных объемов. 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.

*Х.А. Цечоев, студент; конс. А.А. Сидоров;
рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЭЛЕМЕНТЫ МАШИН И АППАРАТОВ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В современном мире для экономии материалов и средств, а также для снижения веса и приобретения новых прочностных свойств все чаще используют и проектируют новые композитные материалы [1]. Композитный материал — это неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу, обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

В настоящей работе рассматривается влияние низких температур на рабочее колесо турбодетандерного агрегата, выполненное из различных композитных материалов. В числе которых чистая эпоксидная смола, эпоксидная смола с наполнителями: стекловолокно, мелкорубленый графит, графен, микросферы.

Для определения статической прочности при низких температурах разработана методика, подготовлены испытываемые образцы, в литературе найдены свойства композитных материалов.

Для исследования композитных материалов при низких температурах проведено 3 типа испытаний: во-первых, определение статической прочности при медленном захолаживании в парах азота, во-вторых, определение статической прочности при быстром захолаживании в жидком азоте, и, в-третьих, оценка прочности при вращении рабочего колеса на различных частотах при медленном захолаживании.

Литература

1. **Камахорт Р.К.** Влияние термоциклирования на углерод-эпоксидные композиты. ASTM STP 602 // Американское общество по испытанию и материалам. 1976. С. 37–49.

В.О. Майоров, асп.; рук. А.К. Ястребов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСКИПАНИЯ ЖИДКОСТИ В ВОЛНЕ РАЗРЕЖЕНИЯ

При внезапной разгерметизации сосуда с жидкостью по ней начинает двигаться волна разрежения, в которой жидкость переходит в метастабильное состояние. В перегретой жидкости в следствие случайных флуктуаций начинают интенсивно образовываться и расти паровые пузыри. Для ряда технических приложений очень важно корректно определять поле давлений с учетом такого фазового перехода.

Рассматривается одномерная нестационарная задача о течении сжимаемой жидкости в канале постоянного сечения. Предполагается, что в начальный момент времени вся расчётная область заполнена покоящейся жидкостью с заданными параметрами: давлением p_0 и температурой T_0 . Левая граница расчетной области является непроницаемой стенкой, а через правую границу жидкость может свободно вытекать во внешнюю область, имеющую давление p_∞ и температуру T_∞ . Для описания течения двухфазной среды, которая состоит из двух сжимаемых фаз, используется модель, предложенная в [1]. Данная модель включает в себя шесть уравнений сохранения (по три для каждой фазы) и уравнение эволюции объемной доли одной из фаз, а замыкается двухчленным уравнением состояния. Описание кинетики объемного вскипания жидкости базируется на кинетическом уравнении для функции распределения паровых пузырей по размерам.

Проведены моделирование истечения вскипающего гексана, находящегося при сверхкритических параметрах. В качестве результатов получены поля давления, скорости, температуры и объемной доли пара. Также было выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными [2], было получено качественное согласование.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-38-90042)

Литература

1. **Saurel R., Abgrall R.** A Multiphase Godunov Method for Compressible Multifluid and Multiphase Flows // J. Comput. Phys. 1999. Vol. 150. Issue 2.
2. **Baab S., Lamanna G, Weigand B.** Two-phase disintegration of high-pressure retrograde fluid jets at near-critical injection temperature discharged into a subcritical pressure atmosphere // Int. J. Multiph. 2018. Vol. 107.

И.В. Володин, студ.; рук. Ю.Ю. Пузина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО КИПЕНИЮ ГЕЛИЯ-II В СТЕСНЁННЫХ УСЛОВИЯХ

Гелий-II — жидкость, имеющая высокую эффективность теплопереноса, в которой проявляются макроскопические квантово-механические эффекты. В сверхтекучем гелии преобладающим является механизм теплопереноса, реализующийся за счёт противотока нормального и сверхтекучего движения. На кафедре низких температур многие годы проводятся эксперименты по кипению He-II внутри пористой оболочки [1].

В ходе выполнения данной работы модернизирована экспериментальная установка для исследований процессов тепломассопереноса в сверхтекучем гелии [2]. Изготовлен новый цилиндрический нагреватель, в виде керамического стержня с обмоткой из ферхалевой нити, покрытой термоусадочной трубкой, диаметром 4 мм и длиной 30 мм, диаметр проволоки 0,4 мм, сопротивление на гелиевых температурах 10,5 Ом. Данный материал впервые использован для экспериментов на сверхнизких температурах. Систематизированы информативные текстовые записи, построены графики зависимостей температуры нагревателя и среды жидкого гелия, удельной тепловой нагрузки и зависимости толщины паровой плёнки от времени.

Главной задачей данного исследования являлась обработка кадров видеосъёмки эксперимента, снятых с камеры, фиксирующей процесс кипения внутри экспериментальной ячейки. Результатами работы являются зависимости толщины паровой плёнки от времени. После обработки представлено описание характерных режимов кипения, которые можно наблюдать в ходе экспериментальной сессии. В процессе эксперимента наблюдаются четыре характерных режима кипения: интенсивное шумовое кипение, стационарный режим кипения, кипение с отрывом пузырей с верхнего края нагревателя, разрыв плёнки и переход через λ -точку.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда проект 19-19-00321.

Литература

1. **Королев П.В., Крюков А.П., Пузина Ю.Ю.** Конструкция экспериментальной ячейки для исследования кипения гелия-II в условиях невесомости // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. 2012. Т. 130, № 5. С. 43–50.
2. **Korolyov P.V., Kryukov A.P., Puzina Yu.Yu., Yachevsky I.A.** The formation of a closed vapor film during the boiling of helium II on a cylindrical heater inside the porous structure // Journal of Physics: Conf. Series 1675 (2020) 012059.

И.А. Корняков, студ.; рук. А.П. Крюков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ КИПЕНИИ НЕ-II. ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА

Самое интересное явление гелия — переход обычного жидкого гелия в сверхтекучее состояние, которое было названо Не-II. При переходе через λ -точку, что находится при температуре 2,17 К, Не-II лишается вязкости и протекает через самые мелкие поры и каналы малых диаметров без сопротивления. Явление сверхтекучести позволяет создать условия для эффективного теплообмена. Один из примеров практического применения сверхтекучего

Не-II — охлаждение магнитов, для достижения состояния сверхпроводника. Общий принцип описания процессов теплопереноса в системе пар — жидкость основывается на приложении законов сохранения массы, импульса, энергии и выполнении условий совместности на границе раздела фаз [1]. Схематично реализуемую при кипении Не-II ситуацию иллюстрирует рисунок выше.

Цилиндрический нагреватель окружен тонким слоем пара толщиной 10 средних длин свободного пробега, непосредственно прилегающий к нагревателю. Решается стационарная задача, в которой толщина паровой плёнки δ не изменяется с течением времени, т.е. поток массы через границы раздела фаз равен нулю. Поскольку реализуются существенно неравновесные условия: температура нагревателя может достигать 100К, а жидкости меньше 2,17 К, постольку необходимо применение молекулярно-кинетической теории. Функции распределения на границах задаются в виде полу-максвеллианов. Для определения удельного теплового потока q в представленной постановке используется прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана. В математической среде Mathcad написана программа генерации случайных углов отклонения взаимодействующих молекул, позволяющая рассчитывать пятикратный интеграл столкновений на каждом шаге с помощью соответствующих кубатурных формул.



Литература

1. Крюков А.П. Элементы гидродинамики и теплопереноса в гелии II.: Издательство МЭИ, 2004.

Н.О. Клочко, студ.; рук. А.В. Бухаров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СТРУЙ В СРЕДЕ С ПОНИЖЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Криогенные корпускулярные мишени являются методом применения монодисперсных технологий, который можно использовать в исследовательских областях: физика высоких энергий, термоядерный синтез и т.д. Малый размер, высокая светимость и возобновляемость — основные требования, предъявляемые к криогенным мишеням. Метод вынужденного капиллярного распада позволяет создать монодисперсные гранулы, удовлетворяющие данным требованиям.

Принцип работы криогенной корпускулярной мишени состоит в том, что струя жидкого водорода вытекает из генератора монодисперсных капель в камеру тройной точки, где под действием специального возмущения струя распадается на капли. С выхода камеры тройной точки капли поступают в рабочую вакуумную камеру, давление в которой поддерживается ниже, чем давление в тройной точке, из-за чего происходит интенсивное испарение жидкости. Струя и капли охлаждаются, замерзают и становятся твёрдыми гранулами [1].

Одним из конструктивных недостатков описанной выше мишени является необходимость наличия в конструкции камеры тройной точки.

Этого недостатка можно избежать, если вводить жидкую высокоскоростную струю сразу в рабочую камеру.

Для определения параметров, необходимых для реализации схемы без камеры тройной точки, были проведены расчеты охлаждения струи модельной жидкости в зависимости от диаметра, скорости, начальной температуры струи и давления в рабочей камере. В начале рассматривалась задача об испарении с поверхности струи, после был рассмотрен теплообмен струи с окружающей средой, где свойства жидкой и твердой фаз принимаются равновесными. Данные задачи были решены с помощью программы Phoenix.

Исходя из результатов проведенных расчетов можно сделать вывод, что процесс замерзания не происходит мгновенно. Время замерзания струи зависит от скорости струи, диаметра струи и давления в рабочей камере.

Литература

1. **Аметистов Е.В.** Монодисперсные системы и технологии. М.: МЭИ, 2002.

Р.Н. Новиков, студ.; рук. И.Н. Шишкова, к.т.н., инж. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ БОЛЬЦМАНА

В данной работе проводится исследование и анализ различных методов решения кинетического уравнения Больцмана в приложении к решению задач об энергомассопереносе. В частности, данные методы анализируются на основании решения задачи о переконденсации. Рассматриваются несколько методов и способ их реализации на практике.

Для последующего анализа данных, полученных двумя различными методами, проводилось сравнение моментного метода решения кинетического уравнения Больцмана, как представителя аналитических методов решения, и метода прямого численного решения, в качестве метода, реализуемого численно на ЭВМ. На основании полученных данных, делается вывод о целесообразности использования данных методов.

Одной из особенностей данной работы является сравнение временных затрат ЭВМ на решение кинетического уравнения Больцмана методом прямого численного решения. Проводится анализ зависимости скорости работы программы решения уравнения Больцмана от характеристик ЭВМ, на которой производятся вычисления. Данное сравнение проводилось на 2-х различных конфигурациях ЭВМ с изменяемыми параметрами тактовой частоты работы центрального процессора и оперативного запоминающего устройства.

Литература

1. **P.L. Bhatnagar, E.P. Gross, M.A. Krook.** A model for collision process in gases. Small amplitude processes in charged and neutral one-component system // Physical review. — 1954. — V. 94, N. 3. — P. 511–525.
2. **Е.М. Шахов.** Об обобщении релаксационного кинетического уравнения Крука // Изв. АН. СССР. МЖГ, 1968.
3. **В.В. Аристов, Ф.Г. Черемисин.** Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана. М.: Вычислительный центр РАН. 1992.
4. **Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков.** Численные методы. М.: Наука, 1989.

Секция 43
НАНОТЕХНОЛОГИИ
Nanotechnologies

Председатель секции:

д.т.н., профессор Дмитриев Александр Сергеевич

Секретарь секции: к.т.н. Макаров Петр Георгиевич

М.Д. Утешев, студ.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время мощность современных компьютеров растет, а с ней возрастает и их тепловыделение. Современный компьютер охлаждается за счет системы воздушного охлаждения: совокупности радиатора с вентилятором, которые устанавливаются на графический процессор и микросхемы. Однако, в наши дни, привычные нам методы охлаждения могут не справиться со своей задачей, ведь чем мощнее компьютер, тем больше электричества он поглощает, следовательно, неизбежен рост тепловыделения. Таким образом, возникает необходимость в применении более действенных методов охлаждения, например, при помощи термотрубок, о которых будет идти речь в данной работе.

Термотрубки представляют собой герметичные цилиндры, частично заполненные теплоносителем. Внутри цилиндра находится другая трубка, сделанная в виде капилляра. Принцип работы таков: в нагретой области теплоноситель испаряется, его пар переходит в охлаждаемую часть термотрубки и там конденсируется, а конденсат по внутренней капиллярной трубке возвращается в нагретую область. Важное преимущество термотрубок заключается в высокой теплопроводности, поэтому охлаждающие системы на термотрубках весьма эффективны в условиях меняющегося тепловыделения. Это важно, например, для охлаждения процессоров, которые, в зависимости от режима работы, выделяют разное количество тепла. Также термотрубки компактны и бесшумны, и обладают низким тепловым сопротивлением.

В ходе научной работы было произведено численное решение уравнения теплопроводности и диффузии методом прогонки на языке программирования Pascal для граничных условий первого и второго рода [1]. Решение представлено в виде зависимости температуры и плотности от координаты. Также были сделаны расчеты степени пересыщения и тепловых потоков при испарении и естественной конвекции.

Результаты данной работы играют важную роль как в модернизации существующих термотрубок, так и в создании новых способов охлаждения компьютерных систем.

Литература

1. **Кузнецов Г.В., Шермет М.А.** Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. — 172 с.

М.М. Новиков, студ.;
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
научн. конс. Д.В. Болтунов, нач. сектора (АО «РКС», г. Москва)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ МИКРОСТРУКТУР МЕТОДОМ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Исследование механических характеристик МЭМС, тестирование и диагностика производимых изделий, систематизация результатов производства необходимы для повышения качества МЭМС и снижения количества бракованных изделий.

Цель работы — определение механических характеристик исследуемых образцов модифицированным методом Оливера-Фарра. В качестве объекта исследования использованы полосковые микроструктуры гальванического золота толщиной 4 мкм.

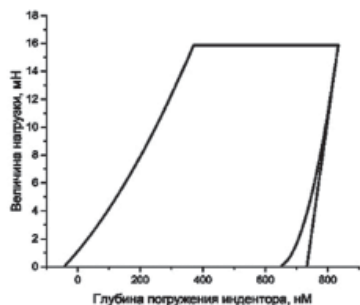


Рис. 1. Механические свойства материала при нагрузке и разгрузке

Исследование механических характеристик выполнено на нанотвердомере, полученные результаты обработаны с помощью модификации метода Оливера-Фарра, исключающей вклад перемещения образца под действие индентора (рис. 1).

После коррекции результатов и исключения из рассмотрения вклада перемещения образца под действием индентора нанотвердомера выявлено увеличение энергии пластической деформации на 46% по сравнению с первоначальными оценками, уточнено значение модуля Юнга.

Полученные данные обеспечивают обоснованный подход к проектированию МЭМС. В продолжение исследований проводится совершенствование модификации метода Оливера-Фарра и ее отработка на большем количестве различных структур.

Литература

1. Ю.И. Головин. Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007. — 496 с.
2. В.К. Неволин. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2006. — 160 с.

Д.Д. Бабенко, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

О КОНЦЕПЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ АКТИВНЫХ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ С СИЛЬНЫМ ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Проблема отвода тепла от устройств микро — и оптоэлектроники высокой производительности стала вновь актуальной в последнее десятилетие. Постоянный рост производительности вместе с тепловыделением ограничил пул материалов и методов используемых для охлаждения устройств. Переход микроэлектроники с планарных технологий на 3D с последующим увеличением плотности элементов на чипе требует новых технологий эффективного отвода тепла. В этой работе мы рассматриваем испарительные методы охлаждения устройств с активными термоинтерфейсными материалами, которые по теоретическим оценкам могут обеспечить отвод более 350 Вт/см² тепла с устройства

В данной работе представлены исследования в области теплофизики и гидродинамики на прерывистых поверхностях [1–3]. Представлены схемы установок по исследованию особенностей испарения на неоднородных поверхностях, а также пример схемы испарительной ячейки с активным термоинтерфейсом, а также представлены результаты измерений с использованием коллоидного раствора графена как рабочей жидкости.

Основная цель работы — изучение особенностей процессов испарения коллоидных растворов на основе графена и изучение процессов испарения на неоднородных поверхностях. Изменение температуры Лейденфроста для различных по морфологии поверхностей также является важной задачей для интенсификации теплообмена и повышения эффективности систем охлаждения в микроэлектронике и сильноточной электронике.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Nicasio R. Geraldi, Glen McHale, Ben B.Xu, Gary G. Wells, Linzi E. Dodd, David Wood, Michael I. Newton,** Leidenfrost transition temperature for stainless steel meshes, *Materials Letters*, Volume 176, 2016, Pages 205–208, ISSN 0167-577X, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.04.124>.
3. **Dmitriev, Alexander.** (2019). Hybrid Graphene Nanocomposites: Thermal Interface Materials and Functional Energy Materials. 10.5772/intechopen.89631.

Д.Д. Бабенко, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ГРАФЕНА НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ ЕГО ТЕРМОИНТЕРФЕЙСОВ

В связи с высоким ростом производительности устройств микро — и опто-электроники и, как следствие, с тепловыделением, проблема отвода тепла от этих устройств стала вновь актуальной. Для уменьшения теплового сопротивления между устройством и системой охлаждения применяются термопасты. Но многие современные термопасты не отвечают требованиям современной электроники и обладают относительно низкой теплопроводностью. Наряду с другими аллотропными модификациями углерода графен стал использоваться как перспективный материал для повышения теплопроводности термопаст.

В данной работе представлены результаты измерения теплопроводности паст с добавлением графена с различными линейными размерами, а также различной слоистостью.

Целью работы является получить оптимальные характеристики графеновых нанохлопьев для использования в изготовлении термопаст.

В рамках данной работы был получен ряд образцов на базе алюминия, оксида алюминия и полиметилсилоксана с добавлением графеновых нанохлопьев с различными характеристиками. Были проведены измерения теплопроводности и вязкости, микроскопия (оптическая, сканирующая-электронная). Так же проведены измерения непосредственно на микропроцессорах.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 17-19-01757).

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.
3. **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
4. **A.S. Dmitriev.** Hybrid Graphene Nanocomposites: Thermal Interface Materials and Functional Energy Materials, *Graphene Production and Application*, 2019, DOI: 10.5772/intechopen.89631

*А.В. Артамонов, асп.; рук-ли П.Г. Макаров, к.т.н., ст. преп.;
А.С. Дмитриев, д.т.н., профессор (НИУ «МЭИ»)*

ПОЛУЧЕНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА БЛАГОДАРЯ ЭФФЕКТУ ЛЕЙДЕНФРОСТА НА НЕОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Во многих технических приложениях мы сталкиваемся с взаимодействием жидкости с перегретой твердой поверхностью. Если поверхность нагрета выше определенной температуры, кипение происходит в пленочном режиме, что в случае с каплей выражается в возникновении эффекта Лейденфроста [1]. В ходе проведения исследований по взаимодействию каплей различных жидкостей с перегретыми металлическими струнами было обнаружено, что при содержании в капле частиц графена последние собираются в кластеры, которые по мере испарения капли увеличиваются и затем полностью закрывают её поверхность (рис. 1).

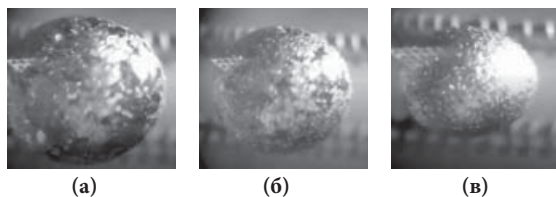


Рис. 1. Фотографии капли с содержанием частиц графена, испаряющейся при эффекте Лейденфроста на металлических струнах

На основе наблюдаемого явления было выдвинуто предположение, что возможно получение трёхмерных структур в результате эффекта Лейденфроста на металлических струнах. В качестве рабочей жидкости использовался раствор спирта с содержанием графена и соли различных концентраций. Полученные пористые структуры обладают формой, близкой к сферической со средним диаметром 2.5мм (рис. 2).

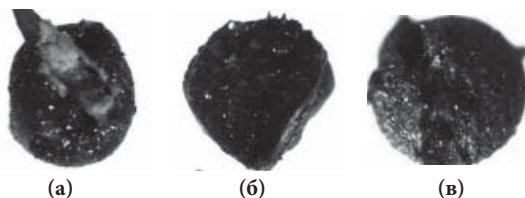


Рис. 2. Фотографии пористых трёхмерных структур, полученных в результате эффекта Лейденфроста на неоднородных поверхностях сложной структуры

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №17-19-01757

Литература

1. **Джерл Уокер.** Кипение и эффект Лейденфроста; Государственный Университет Кливленда, 1994.

Н.В. Морозов, студ.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ ГРАФЕНОВЫХ НАНОЖИДКОСТЕЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В последнее время в солнечной энергетике все чаще рассматривается возможность использования в качестве теплоносителя графеновой наножидкости [1]. Это связано с исследованиями ряда свойств наножидкостей, показавших их большую эффективность по сравнению с чистой жидкостью [2]. Малоисследованным остается влияние вихревого течения и магнитного поля на способность наножидкости поглощать электромагнитное излучение, в частности, солнечного излучения, применительно к солнечной теплоэнергетике с генерацией пара.

Цель данной работы — проведение экспериментальных исследований и построение моделей поведения графеновых наножидкостей при вихревом течении в магнитном поле при воздействии солнечного излучения.

В данной работе исследуется коллоидный раствор с дисперсионной фазой в виде графеновых нанохлопьев (ширина 10–100 мкм, толщина 1,5–3,5 нм), базовой жидкостью является деионизированная вода. Экспериментальный стенд состоит из вращающейся платформы, источника и приемника лазерного излучения, постоянного магнита, а также имитатора солнечного излучения и приборов для диагностики базовых параметров.

Задачи наших экспериментов:

- 1) исследование влияния вращения наножидкости на пропускание и отражение лазерного излучения;
- 2) исследование влияния постоянного магнитного поля на способность вращающейся наножидкости пропускать и отражать лазерное излучение.
- 3) изучение температуры и скорости нагрева солнечным излучением с планковским спектром вращающейся графеновой наножидкости в магнитном поле.

Литература

1. **А.С. Дмитриев, А.В. Клименко.** Преобразование солнечного излучения в пар — новые возможности на основе наноматериалов (обзор). ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2020, № 2, с. 1–16.
2. **А.С. Дмитриев, И.А. Михайлова.** Особенности нагрева и генерации пара графеновыми хлопьями при поглощении концентрированного солнечного излучения. Материалы международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетике» (Москва, 19–23 октября 2020 г.). — М.:Издательство МЭИ, 2020. с. 93–94.

С.С. Журавлёв, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ И ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Современные темпы развития электронных и микроэлектронных устройств крайне стремительны. Однако при увеличении мощности таких устройств также возрастает их тепловая напряженность, что, в свою очередь, может привести к повреждению оборудования или снижению срока его службы. Для того чтобы предотвратить негативное воздействие перегрева на электронные компоненты необходимо использовать системы терморегуляции.

Немаловажным звеном в терморегулировании устройств являются многокомпонентные термоинтерфейсные материалы [1–3], которые призваны снизить термическое сопротивление между тепловым стоком и тепловыделяющим элементом.

Одна из основных целей работы — разработка установки для измерения теплопроводящих свойств различных термоинтерфейсных материалов с высокой точностью в рамках международных стандартов, а также изучение свойств термоинтерфейсных материалов, созданных на базе графена, применение которого приводит к интенсификации теплообмена и повышению эффективности систем охлаждения в микроэлектронике, сильноточной электронике и оптоэлектронике.

В данной работе представлены методики разработки экспериментальной установки по измерению теплофизических свойств теплопроводящих материалов, а также описаны её особенности, произведены теоретические расчеты и оценки эффективности.

Работа поддержана грантом РФФИ (№ 17-19-01757).

Литература

1. **Дмитриев А.С.** Введение в нанотеплофизику. М.: БИНОМ, 2015. 756 с.
2. **Ногин Д.А.** Теплопроводная паста с наноразмерным наполнителем для LED светильников повышенной мощности / Ногин Д.А., Салов А.В., Шишкин Р.А., Елагин А.А., Баранов М.В., Бекетов А.Р., Кудякова В.С., Стоянов О.В. // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — № 16, том 17. — С. 92–96.
3. **Prasher. R.** Thermal Interface Materials: Historical Perspective, Status, and Future Directions // Proc. IEEE, 2006. v. 94.

*А.П. Игнащенко, студ.; научн. конс. Н.П. Бобырь, н.с.
(НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва);
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ ТАНТАЛА НА ЗАХВАТ ДЕЙТЕРИЯ В ВОЛЬФРАМЕ МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ

Благодаря высоким температуре плавления, порогу распыления, теплопроводности и относительно низкой активации после нейтронного облучения вольфрам в настоящее время считается наиболее перспективным материалом, обращенным к плазме.

Работа посвящена исследованию влияния легирующих примесей тантала на захват дейтерия в вольфраме для решения материаловедческих проблем при проектировании термоядерных реакторов. Изучались образцы монокристаллического вольфрама с примесями тантала следующих концентраций: 1%; 3%; 5%. Насыщение образцов дейтерием происходило из газовой фазы и облучением дейтериевой плазмой. Количество поглощенного дейтерия определялось методом термодесорбционной спектроскопии.

В работе представлены методики насыщения образцов дейтерием и термодесорбционной спектроскопии, схемы экспериментальной установки. Результаты проведенных исследований концентрации захваченного дейтерия дают возможность оценить влияние примесей тантала на поглощение дейтерия в вольфраме.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (No. 18-72-10162).

Литература

1. **J. Likonen, S. Koivuranta, K. Heinola [et al.]**, Investigation of deuterium trapping and release in the JET ITER-like wall divertor using TDS and TMAP // Nuclear Materials and Energy. — 2019. — Vol. 19. — P. 166–178. — DOI 10.1016/j.nme.2019.02.031.
2. **А.А. Русинов, Ю.М. Гаспарян, С.Ф. Перельгин [и др.]**, Стенд для термодесорбционных измерений // Приборы и техника эксперимента: науч. журнал. — 2009. — № 6. — С. 116–121.
3. **V. Philipps**, Tungsten as material for plasma-facing components in fusion devices (2011)
4. **N.P. Bobyr, V.Kh. Alimov, Y. Hatano, T. Toyama, V.V. Khankin, V.S. Efimov, A.A. Mednikov, M. Mayer, V.I. Shvedunov, A.V. Spitsyn**, Deuterium retention in 10-MeV-electron-irradiated tungsten after exposure to low-flux D plasma and D2 gas, 2015.

Е.Д. Матвеев, студ.; рук. П.Г. Макаров, к.т.н., ст.п. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ПРЫГАЮЩИХ ПУЗЫРЕЙ» ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ МОНОДИСПЕРСНЫХ МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Данная работа является продолжением изучения эффекта «прыгающих пузырей». Эффект «прыгающих пузырей» отличается от известных процессов кипения, где материал пористой среды всегда неподвижен относительно движущейся жидкости и пузырьков пара [1], тем, что в процессе кипения принимают участие три фазы — жидкость, пар и твердые микросферы [2].

В настоящей работе исследовалась возможность применения эффекта прыгающих для разделения мезоскопических частиц различных материалов. Ранее эффект прыгающих пузырей исследовался лишь с использованием различных по размеру и геометрии мезоскопических частиц, ввиду этого размер и количество парогазовых пузырей сильно варьировалось в зависимости от размера частиц, также была отлична подъёмная сила, действующая на различные по размеру частицы. Поэтому в данной работе для нивелирования разницы подъёмной силы вызванной, количеством и размером пузырей, а также размером частиц, использовались частицы одинаковой формы-цилиндр, и размера 0,21 мм на 0,45 мм, но качественно разных материалов — полиамида и железа. Была проведена серия опытов по исследованию эффекта прыгающих пузырей с использованием как отдельной так совместной засыпкой частиц. Установлены температуры начала и окончания протекания различных стадий эффекта при различных типах засыпки. Составлена карта режимов при использовании различных вариантов засыпок. В результате был определен диапазон температур, внутри которого в прыгающем кипении принимают участие гранулы исключительно одного материала. На основании этого сделан вывод о применимости данного эффекта для разделения разнородных частиц, примером практического применения может служить поэтапное разделение мусора.

Литература

1. **Ковалев С.А., Соловьев С.Л.** Испарение и кипение в тепловых трубах. М.: Наука, 1989. 111 с.
2. **Эльбуз Мустафа Али.** Исследование процессов тепломассообмена при испарении и кипении в простых и мезоскопических системах монодисперсных микросфер и мезотрубок; Издательство МЭИ, 2015.

А.С. Николаев, асп.; рук. А.С. Дмитриев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ)

ОСОБЕННОСТИ КОЛЛЕКТИВНОГО ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ОБЫЧНЫХ И НАНОЖИДКОСТЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Испарение коллективов капель является ещё не вполне изученной темой. Коллективные эффекты под час принимают весьма интересные формы, и могут даже при определённых условиях оборачивать процесс испарения капли вспять. Особый интерес представляет случай наклонной ориентации подложки. Коллективные эффекты испарения на подложках различной ориентации оказывают заметное влияние на различные процессы в нанопотонике, струйной печати, биомолекулярном анализе и секвенировании ДНК.



Рис. 1. Система горизонтально ориентированных капель

Целью исследования является определение влияния наклона и нагрева подложек на коллективные эффекты испарения капель различных жидкостей, в том числе и нанокolloидов графена, в частности на скорость испарения как системы в целом, так и её отдельных элементов.

В ходе данной работы была разработана, создана и протестирована новая экспериментальная установка. Проведено исследование смачиваемости и растекания капель и системы капель наножидкостей в различных режимах. (различное расположение капель на подложках, наличие отсутствие нагрева подложек, различный угол наклона подложек, вплоть до вертикальной ориентации). Проведенные исследования закономерностей испарения массивов капель, важны, в частности, для разработки перспективных технологий 2D и 3D печати на гибких подложках.

Литература

1. **A.J. Shah, Y. Sun, X. Yang, V. Chhasatia.** Coalescence evaporation and particle deposition of consecutively printed colloidal drops. *Soft Matter*. 2012. 8, 9205
2. **Eloise C. Tredenicka, W. Alison Forsterb, Ravindra Pethiyagoda, Rebecca M. van Leeuwenb, Scott W. McCuea** Evaporating droplets on inclined plant leaves and synthetic surfaces: experiments and mathematical models. arXiv:2010.02639v2

Д.С. Сухов, студ.; рук. И.М. Дергунов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОИНТЕРФЕЙСОВ НА ОТВОД ТЕПЛА ОТ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

В микроэлектронике и наноэлектронике, всегда остро стоит вопрос об отведении тепла. По ходу развития технологий повышается количество элементов на единицу площади, растут токи, в связи с чем возрастает локальное тепловыделение. Для отведения тепла используются радиаторы в связке с различными термоинтерфейсами.

Актуальная инженерная задача состоит в отводе большого количества тепла от тепловыделяющего элемента. Было рассмотрено влияние различных термоинтерфейсов на отведение тепла, и сравнивалось с идеальным прямым контактом и с контактом при наличии прослоек воздуха. Для этого была построена модель, где находится тепловыделяющий элемент, радиатор игольчатого типа, охлаждаемый посредством естественной конвекции, корпус, выполненный из оргстекла, и пространство, заполненное воздухом. Моделирование было выполнено посредством использования CFD, что позволяет дать предварительную оценку, сравнить результаты с экспериментальными данными и в случае сильных расхождений внести корректировки в модель, что предоставит возможность сократить срок разработки охлаждающего устройства и подбор термоинтерфейса.

В работе представлены модели с различными термоинтерфейсами при разной мощности, и при разных толщинах. Результаты проведенных исследований дают возможность оценить эффективность теплоотвода в зависимости от свойств термоинтерфейсов.

Литература

1. **Yu, E., Joshi, Y.** Heat Transfer Enhancement from Enclosed Discrete Components Using Pin-Fin Heat Sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

В.С. Терешкин, студ.; рук. В.Ю. Левашов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Постоянно растущая мощность современных электронных устройств неразрывно связана с необходимостью поиска и разработки эффективных методов отвода тепла. Современная электроника может генерировать тепловые потоки, превышающие 1000 Вт/см^2 . В тоже время, существующие на сегодняшний день традиционные методы охлаждения способны отводить тепловые потоки порядка 100 Вт/см^2 [1].

Одним из возможных способов охлаждения является использование процесса испарения. Примером исследования данного способа охлаждения может служить работа [2].

Основной проблемой описания процесса испарения из капилляра является тот факт, что число Кнудсена (отношение средней длины свободного пробега молекул к характерному размеру системы) для таких систем может быть существенно больше единицы. Так, например, для случая, когда диаметр капилляра составляет 10 нм число Кнудсена для нормальных условий $\text{Kn} \sim 8$. Использование уравнений механики сплошной среды в этих условиях становится неправомерным. Одним из возможных подходов, позволяющих получить решение данной проблемы, может служить метод молекулярно динамического моделирования [3].

В настоящей работе рассматривается процесс отвода тепла через пористую среду. Пористое тело моделируется системой цилиндрических капилляров. Макропараметры (температура или давление) получают путём осреднения скоростей частиц по всему объёму.

Результатом моделирования является зависимость температуры от расстояния от поверхности нагревателя. Рассмотрены случаи различных температур нагревателя.

Литература

1. **Benzi John, Ryan Enright, James E. Sprittles, Livio Gibelli, David R. Emerson, and Duncan A. Lockerby** Numerical investigation of nanoporous evaporation using direct simulation Monte Carlo // *Phys. Rev. Fluids* 4, 113401.
2. **Akkus Y.** Modeling of evaporation from nanoporous membranes using molecular dynamics simulation // *J. of Thermal Science and Technology* ©2019 TIBTD Printed in Turkey ISSN 1300-3615.
3. **Rapaport D.C.** The art of molecular dynamics simulation. Second Edition, Cambridge University Press, 2004.

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 ПЛЁНОК Al_2O_3 ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ЗАРЯДОВЫХ СВОЙСТВ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА SiO_2/Si

Исследована возможность применения пленок оксида алюминия, полученных методом катодного распыления мишени Al_2O_3 для стабилизации зарядовых свойств границы раздела $SiO_2/p-Si$.

Исследование проводилось на пластинах КДБ-20 и КДБ-8000 диаметром 60 мм. Пластины подразделялись на три группы. На первой и второй выращивали термическую пленку SiO_2 толщиной 0,18 мкм, затем на вторую группу наносили пленку Al_2O_3 толщиной 0,15 мкм. На третью группу наносили только пленку Al_2O_3 . Электрофизические параметры экспериментальных образцов определялись путем измерения высокочастотных вольт-фарядных (С-U) характеристик с использованием 4277ALCZ-измерителя фирмы HP. Измерения проводили на частоте 10 кГц.

В представленной работе показано, что наличие встроенного отрицательного заряда в пленке Al_2O_3 предотвращает образование инверсионного слоя на поверхности кремния *p*-типа проводимости и обуславливает обогащение поверхности кремния основными носителями. Часть полученных результатов — на рис. 1.

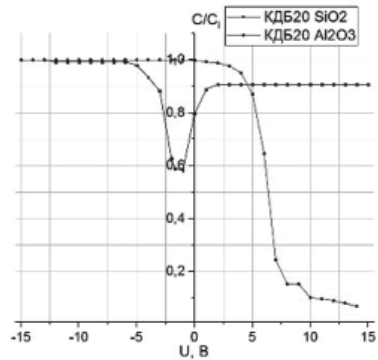


Рис. 1. С-U характеристика плёнок SiO_2 и Al_2O_3 на пластинах кремния КДБ-20

Литература

1. R. Boidin, T. Halenkovič, V. Nazabal, L. Beneš, P. Němec. Pulsed laser deposited alumina thin films, *Ceramics International* 42, 1177–1182 (2016).
2. Колкий А.Н., Ким А.С. Многоплощадочный кремниевый *p-i-n*-фоточувствительный элемент с двухслойной диэлектрической пленкой // Тез.докл. X Научно-практич.конф. молодых учёных и специал. «Фотосенсорика: новые материалы, технологии, приборы, производство». — М.:НПО «Орион». 17 марта 2021. — с. 17.

Д.А. Цакоев, студ.; рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
 науч. конс. А.Н. Колкий, инж. (ГНЦ РФ АО «НПО Орион», Москва)

ПОЛУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНОК Al_2O_3 МЕТОДОМ ВЧ КАТОДНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Плётка Al_2O_3 обладает уникальным электрофизическим свойством — наличием большого по величине отрицательного заряда. Плёнки Al_2O_3 можно использовать в качестве изоляции отдельных элементов интегральных схем, просветляющих покрытий, масок при диффузии и имплантации.

Цель исследования — получение плёнок Al_2O_3 методом высокочастотного (ВЧ) катодного распыления для использования в качестве второго просветляющего слоя в технологии фотоприёмных устройств (ФПУ) и получения зависимости коэффициента преломления от длины волны. Объектом исследования стали плёнки Al_2O_3 , полученные методом высокочастотного катодного распыления толщиной 50–100 нм, на подложках кремния.

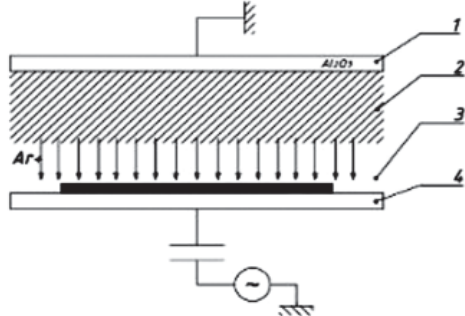


Рис. 1. Схема катодного ВЧ распыления: (1) Катод с распыляемой мишенью, (2) тлеющий разряд, (3) темное пространство, (4) подложкодержатель

В представленной работе содержатся методики и схемы экспериментальных установок по получению и анализу физико-химических свойств плёнок.

Проведённые исследования привели к выводу: плёнки Al_2O_3 , полученные методом высокочастотного катодного распыления, пригодны в технологии ФПУ. Схема установки для получения плёнок Al_2O_3 приведена на рис. 1.

Литература

1. А.А. Батраков, И.А. Михайлова Исследование физико-химических свойств наноструктурированных материалов. Часть 2: учебное пособие по курсу «Физикохимия наночастиц и наноматериалов» — М.: Издательство МЭИ, 2017 г.
2. R. Boidin, T. Halenkovič, V. Nazabal, L. Beneš, P. Němec Pulsed laser deposited alumina thin films, *Ceramics International* 42, 1177–1182 (2016).
3. Берлин Е., Двинин С., Сейдман Л. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. — М.: Техносфера, 2007. — 176 с.

*А.С. Степаев, студ. (НИУ «МЭИ»);
А.Н. Колкий, асп. (ГНЦ АО «НПО «Орион», Москва);
рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

КОНТРОЛИРУЕМОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПЛЁНОК Si_3N_4 В ПЛАЗМЕ ФРЕОНА

Благодаря уникальным электрофизическим свойствам, Si_3N_4 широко применяется в изготовлении фотоприёмных устройств (ФПУ). Плёнки Si_3N_4 получают путём реакции взаимодействия силана с аммиаком (или азотом) в интервале температур 100–800°C. Во всех методах получения плёнок Si_3N_4 возникает проблема переосаждения, поскольку процессы зависят и от внутренних факторов (сторонние примеси), и от внешних (температуры и влажности окружающей среды).

Цель исследования — определение контролируемого режима травления Si_3N_4 в плазме фреона (CF_4) для изготовления плёнок необходимой толщины в технологии ФПУ. Объектом исследования стали плёнки Si_3N_4 толщиной 105–120 нм, полученные термическим разложением моносилана с аммиаком, и плазмохимическим методом из смеси моносилана с азотом.

В представленной работе содержатся методики и схемы экспериментальных установок по получению и анализу физико-химических свойств плёнок. Проведённые исследования привели к выводу, что контролируемое травление плёнок Si_3N_4 в плазме CF_4 пригодно для достижения необходимых толщин для использования в технологии ФПУ. Часть полученных результатов приведена на рис. 1.

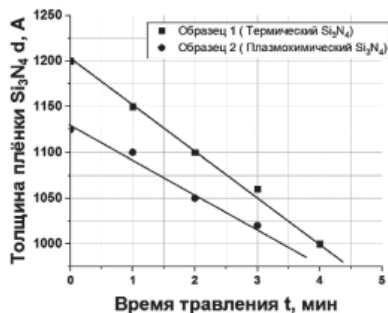


Рис. 1. Зависимость толщины пленки нитрида кремния от времени травления

Литература

1. Берлин Е., Двинин С., Сейдман Л. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. — М.: Техносфера, 2007. — 176 с.
2. Батраков А.А., Михайлова И.А. Исследование физико-химических свойств наноструктурированных материалов. Часть 2: учебное пособие по курсу «Физикохимия наночастиц и наноматериалов». — М.: Издательство МЭИ, 2017 г. — 80 с.

Н.А. Серко, студ.; рук. И.А. Михайлова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
конс. А.Н. Колкий; И.В. Чинарева
(ГНЦ РФ АО «НПО «Орион», Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ ЦИНКА В InP И ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ InGaAs/InP ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследование посвящено изучению характеристик твердотельных полупроводниковых приборов. Одним из способов формирования p - n -перехода в лавинных и pin -фотодиодах в гетероструктурах InGaAs/InP является диффузия элементов II группы (Mg, Zn, Cd) в слой фосфида индия. Наиболее распространенные диффузаны-акцепторы — Cd и Zn, но в технологии полупроводниковых приборов элементарные диффузаны обычно не используются, поскольку процесс при этом плохо управляем, цинк или кадмий диффундируют в полупроводниковую пластину слишком быстро, вызывая эрозию поверхности, что связано с избыточным давлением паров летучего компонента V группы. Для предотвращения разрушения поверхности полупроводника при нагреве необходимо использовать диффузаны Zn_3P_2 и CdP_2 .

Цель работы — исследование процесса диффузии цинка в фосфид индия и гетероэпитаксиальные структуры n - InP/n - $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/n^+$ - InP для применения в технологии фоточувствительных элементов, работающих в ближнем ИК-диапазоне длин волн 0,9–1,7 мкм. Исследована зависимость глубины диффузии цинка в InP от времени. В работе определен коэффициент диффузии цинка в монокристаллическом и эпитаксиальном InP , в гетероструктурах n - InP/n - $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/n^+$ - InP . Подобрана оптимальная масса диффузанта фосфида цинка для процесса ампульной диффузии. Показано, что этот технологический процесс может быть использован в технологии изготовления как pin -фотодиодов, так и лавинных фотодиодов на основе гетероэпитаксиальных структур n - InP / n - $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As} / n^+$ - InP , приведены вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики фотодиодов.

Литература

1. Андреев Д.С., Гришина Т.Н., Залетаев Н.Б., Трищенко М.А. Многоэлементные быстродействующие фотодиоды на основе гетероструктур InGaAs/InP // Прикладная физика. 2012. № 4. С. 86–90.
2. J. Slotte, K. Saarinen, A. Salmi, S. Simula, R. Aavikko, P. Hautojarvi Formation of vacancy-impurity complexes in heavily Zn-doped InP // Physical Review B. 67, 115209-2003.

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

А.Б. Мухаметов, асп.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ШУМА «СУХИХ» ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРЕН

Широкое распространение в энергетике для охлаждения воды, нагретой в конденсаторах паровых турбин, получили градирни. Использование градирен объясняется тем, что для их размещения требуется значительно меньшая площадь по сравнению с другими типами охладителей [1]. Различают следующие виды градирен: испарительные и «сухие».

Для энергетики все шире используются «сухие» вентиляторные градирни. В «сухих» вентиляторных градирнях вода проходит по теплообменникам и охлаждается воздухом, который нагнетается вентиляторами. В таких градирнях отсутствуют потери рабочей среды, что делает их применение более привлекательным. В [2] авторами теоретически показано, что вентиляторные градирни являются более шумными, чем испарительные, а в [3] — как изменяется излучаемый уровень шума от вентиляторных градирен с увеличением мощности тепловых электростанций (ТЭС).

В продолжение указанных работ для количественной оценки шума градирен в программе Predictor разработаны математические модели ТЭС с парогазовыми установками одинаковой мощности (450 МВт) и выполнены акустические расчеты. На рассматриваемых электростанциях используются испарительные и «сухие» вентиляторные градирни. В результате проведенных расчетов определено, что использование испарительных градирен не приводит к превышению нормативов на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), а эксплуатация «сухих» вентиляторных градирен является причиной их значительного превышения. Определено влияние поярусного шумоизлучения от «сухих» градирен на результаты акустических расчетов.

Для снижения шума вентиляторных градирен рассмотрена возможность использования различных мероприятий. В программе Ansys выполнено математическое моделирование рассматриваемых мер по снижению шума с целью определения их акустической эффективности.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.
2. **Tupov V.B, Taratorin A.A., Mukhametov A.B.** Comparing the noise characteristics of different types of cooling towers // *Akustika*, v. 39, April 2021, p. 44–47.
3. **Тупов В.Б., Мухаметов А.Б.** Зависимость уровня шума сухих вентиляторных градирен от мощности тепловых электрических станций // *Наука. Исследования. Практика: сборник статей международной научной конференции (Санкт-Петербург, Апрель 2021)*. — СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2021. С. 86–88.

В.Д. Виснер, маг.;
рук. М.С. Иваницкий, док. техн. наук, доцент (ВФ МЭИ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ТОПКЕ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

В процессе эксплуатации энергоблока с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) № 9 Новочеркасской ГРЭС мощностью 330 МВт выявлен ряд недостатков, связанных с технологией сжигания: высокая средняя температура слоя и большая неравномерность температуры по поверхности слоя; высокая температура на выходе из топки и увеличение температуры газов в циклонах; длительное время пуска котла из холодного состояния; трудности с поддержанием режима в переходных процессах.

Автором проанализировано, что снижение коэффициента расхода первичного воздуха на 2% может уменьшить тепловыделение в слое почти на 10 Гкал/ч, что даст снижение средней температуры слоя примерно на 20°C. При этом скорость газов в слое снизится незначительно. Это техническое решение будет наиболее эффективно при снижении доли крупных частиц в подаваемом топливе. За счет эндотермической реакции разложения известняка в слое, тепло слоя снимается. Добавка циркулирующего материала также приводит к снижению тепла и общий эффект по снижению температуры слоя может достигать 20°C. Подача золы рециркуляции также снизит тепло слоя почти на 4 Гкал/ч. Уменьшение времени пуска котла из холодного состояния во многом связано со снижением времени перехода от сжигания природного газа к полному сжиганию угля. Снижение этого времени определяется фракционным составом топлива: оно должно быть проектным, по крайней мере, по количеству крупных частиц. Другой возможностью является увеличение мощности надслоевых горелок и изменение алгоритма их отключения. Приведенные технологические мероприятия могут найти применение при совершенствовании работы котла с ЦКС [1].

Часть работ по совершенствованию технологии сжигания угля марки АШ на котле блока № 9 может быть выполнена при режимной наладке этого блока. Однако требуется более детальное изучение процессов с организацией дополнительных измерений, а также проведение работ по доводке оборудования, тепловой схемы и оптимизации условий эксплуатации.

Литература

1. **Рябов Г.А.** Развитие технологии сжигания топлив в циркулирующем кипящем слое: исследования ОАО «ВТИ» в обоснование ее использования в России // Электрические станции. 2016. № 6. С. 15–21.

В.Д. Апаров, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЕ ШИРИНЫ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ КЭС ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ

В настоящее время всё актуальней становится проблема модернизации генерирующего оборудования российских электростанций, отработавшего парковый ресурс и использующего устаревшие технологические процессы. Это связано с ростом энергопотребления населения и промышленного сектора, которое влечет за собой необходимость увеличения выработки электроэнергии с наращиванием мощности электростанций за счет строительства новых блоков. Установка нового оборудования приводит к увеличению излучаемого шума от КЭС [1–2].

В работе рассмотрена модернизация КЭС, состоящей из трех блоков 320 МВт докритических и сверхкритических параметров с увеличением их количества до пяти. Согласно рекомендациям действующих норм [3] ширина санитарно-защитной зоны (СЗЗ) электрической станции мощностью 600 МВт и более установлена 500 метров. В работе был осуществлен акустический расчёт в программных комплексах АРМ «Акустика» и Predictor. Проведены варианты расчёты по определению уровней звукового давления по границе СЗЗ при разном составе работающего оборудования. По результатам расчетов наибольшие уровни звукового давления имели место при работе блоков сверхкритических параметров. Здесь наиболее интенсивным источником шума для окружающего района являются осевые дымососы. Определены величины требуемого снижения на границе санитарно-защитных зон от различных групп источников.

На основе полученных величин требуемого снижения выбраны и предложены мероприятия по уменьшению шума для различных групп источников. Выполнение рекомендаций позволит выполнить санитарные нормы на границе СЗЗ.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 284 с.
2. **Тупов В.В., Taratorin A.A.** Influence of thermal power equipment structure on the size of sanitary protection zone by noise factor // Proceedings of the 2st IEEE 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020, 9059202
3. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Минздрав России, 2007.

Е.С. Аристов, студ.; рук. В.Б. Тупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕР ДЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ САНИТАРНЫХ НОРМ ПРИ РАСШИРЕНИИ ТЭС ЗА СЧЕТ ГТУ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время газотурбинные установки (ГТУ) средней мощности находят все более широкое распространение. К ГТУ средней мощности относятся установки мощностью приблизительно от 16 до 60 МВт. К преимуществам ГТУ относятся возможность быстрого монтажа, их экономичность и компактность оборудования. Газотурбинные установки средней мощности часто используются для покрытия максимума нагрузки в электрических системах. Эксплуатация газотурбинных установок связана с повышенным шумоизлучением [1–2].

В настоящей работе уделено основное внимание шуму от выхлопных трактов ГТУ. Для этого проведены акустические расчеты в окружающем районе от шума выхлопных трактов газовых турбин следующих марок: SGT-700, SGT-800, T32-1.

Шум выхлопного тракта ГТУ обусловлен процессом горения, высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока.

Расчеты уровней звукового давления (УЗД) проведены по методике [3] от различных ГТУ средней мощности, которые используются как основное оборудование при расширении ТЭС, в окружающем районе на расстоянии 300 и 500 м от них, а также в близлежащем жилом районе. Показано, что в зависимости от расстояния и количества ГТУ превышение санитарных норм может составлять десятки децибел.

Для снижения шума, излучающегося от выхлопных трактов ГТУ, проведен обзор различных глушителей. Глушители выхлопных трактов должны удовлетворять следующим требованиям: снижение уровня шума до требуемых показателей, минимальное аэродинамическое сопротивление, надежная эксплуатация при высоких температурах.

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду М.: Издательство МЭИ, 2012.
2. **Тупов В.Б., Taratorin A.A.** Features of noise radiation from gas turbines. 1683 Journal of Physics: Conference Series (JPCS).1683 (2020) 042089
3. **ГОСТ 31295.2–2005 (ИСО 9613-2:1993).** Шум. Затухание звука при распространении на местности. Общий метод расчёта. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2007.

*А.А. Аверьянова, студ.;
рук. Ю.В. Абасев, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ С ПРОФИЛЬНО-ВИТЫМИ ТРУБКАМИ

Сетевые подогреватели (СП) предназначены для отпуска тепловой энергии в сеть для удовлетворения нагрузки тепловых потребителей. Эффективность их работы влияет на экономичность как турбоустановки, так и всей станции в целом, поэтому повышение качества их эксплуатации является важной задачей.

Основным способом повышения эффективности работы СП является применение трубок со специальным конструктивным выполнением поверхности теплообмена, периодическим пережатием сечения канала, увеличивающих интенсивность теплообмена между теплоносителем и рабочей средой. Принцип интенсификации теплообмена заключается в достижении возможно меньшей толщины погранслоя или в полном его разрушении и обеспечении турбулентного режима течения теплоносителя.

Наибольшее применение в эксплуатации нашли профильно-витые трубки (ПВТ). Их внедрение позволяет увеличить коэффициент теплопередачи и снизить температурный напор [1]. Улучшение теплообмена с наружной стороны определяется изменением гидродинамики течения теплоносителя на профилированной поверхности трубки, а с внутренней стороны нарушением упорядоченного течения жидкости в вязком подслое за счет его турбулизации и закрутки.

Авторами был проведен теплогидравлический расчет СП ПСГ-2300-2-8, основанный на методике [2].

Результаты расчета показали, что применение ПВТ в данном случае приводит к увеличению коэффициента теплопередачи на 19%, снижению недогрева на 40% и повышению гидравлического сопротивления на 43%. Следовательно, интенсификация теплообмена ПВТ обеспечивает возрастание эффективности теплообменника, но требует увеличение мощности на прокачку теплоносителя.

Литература

1. **Аверьянова, А.А.** Повышение эффективности работы сетевых подогревателей тепловых электрических станций / А.А. Аверьянова, Ю.В. Абасев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. — Казань: КГЭУ, 2020. — С. 89–91.
2. **Бродов Ю.М.** Теплообменники энергетических установок / Бродов Ю.М. — Екатеринбург, 2003. — 965 с.

Д.А. Павлов, студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗЛУЧЕНИЕ ШУМА ОТ ГРП В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Одним из факторов физического воздействия ТЭС является шум. В настоящее время наиболее часто под определением шум понимают любой нежелательный звук [1]. Утомление работников из-за сильного шума приводит к снижению производительности труда при работе и способствует возникновению профессиональных заболеваний.

Цель работы заключалась в определении уровней звукового давления (УЗД) и уровней звуковой мощности (УЗМ) в зависимости от различных типов ограждающих конструкций ГРП: кирпичная кладка, двойные окна, одинарные окна. Анализ выполнен в программе АРМ «Акустика», выполняющей расчёты распространения шума на открытом пространстве по ГОСТ 31295.2-2005 и внутри помещений по СП 51.13330.2011 (актуализированная редакция «СНиП 23-03-2003. Защита от шума»). В ходе расчета определен уровень звуковой мощности проникающего из ГРП шума для различных типов ограждающих конструкций. Результаты представлены на рис. 1. Наилучшие звукоизоляционные свойства проявляет кирпичная кладка.

Также произведено сравнение уровней звукового давления и уровней звука с результатами измерений (см. рис. 2). В случае двойных окон измеренные значения (уровень звука 58 дБА) близки к расчетным (61 дБА). Кирпичная кладка позволяет дополнительно достичь снижения шума в расчётной точке на средних и высоких частотах (УЗ 57 дБА). В случае одинарного остекления ГРП УЗ в расчётной точке возрастает до 76 дБА.

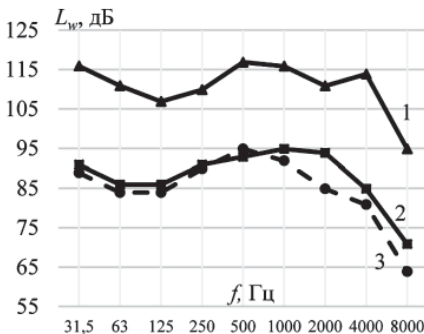


Рис. 1. Сравнение расчетных и измеренных данных:
1 — одинарные окна; 2 — результаты измерений; 3 — двойные окна;
4 — кирпичная кладка

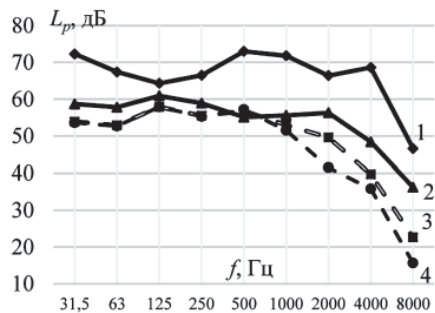


Рис. 2. Сравнение расчетных и измеренных данных:
1 — одинарные окна; 2 — результаты измерений; 3 — двойные окна;
4 — кирпичная кладка

Литература

1. **Тупов В.Б.** Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. — 284 с.

*Д.О. Моисеев, студент; А.В. Охлопков, асп.;
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ ПРИ ЗАМЕНЕ ГЛАВНОГО СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В связи с устареванием и выработкой ресурса барабанов котлов докритического давления на филиалах ПАО «Мосэнерго» сформировалась задача по замене данных устройств в ближайшем будущем. Был проведен анализ причин хрупкого разрушения барабанов на Ярославской ТЭЦ-4 и Курганской ТЭЦ при гидроиспытаниях, что и послужило толчком к детальному рассмотрению вопроса альтернативных вариантов замены устройств.

Целью исследования является анализ опытно-эксплуатационных характеристик существующих барабанов, а также поиск новых вариантов материального исполнения и изменение схем сепарации пара.

В процессе длительной эксплуатации барабанов котлов накапливаются повреждения в виде образования трещин, коррозионных язв, коррозионно-усталостного поверхностного растрескивания. Накопление повреждений определяется условиями эксплуатации и действием циклических нагрузок, приводящих к потере пластичности в зонах концентрации напряжений и появлению трещин. Существует несколько причин повышенной склонности к хрупким разрушениям. Прежде всего, это масштабность конструкции. Известно, что при нагружении толстостенных деталей в металле осуществляется состояние «плоской деформации» [1].

Высокий уровень напряжений обуславливается следующими причинами: конструктивной концентрацией напряжений; остаточными напряжениями;

Именно поэтому, в компании ПАО «Мосэнерго» принят к рассмотрению новый метод с заменой устаревших барабанов на альтернативный вариант барабана малого размера с двухступенчатой схемой сепарации. Также был учтен вариант замены стали 16 ГНМА [2] на сталь европейского образца WB36, используемую на котлах-утилизаторах, импортируемых из-за рубежа.

Таким образом, путем сравнения материалов, компания расширила круг исполнения сепарационных устройств.

Литература

1. **Махутов Н.А.** Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. М.: Машиностроение 1981.
2. **ОСТ 108.030.118-78.** Листы из стали марки 16ГНМА для барабанов котлов высокого давления. Технические условия.

Н.Е. Фоменко, асп.; рук. В.Б. Прохоров, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ ИНВЕРТНОЙ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ С ПОМОЩЬЮ УПРОЩЕННОЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ*

Использование в энергетике энергоблоков на ультрасверхкритических параметрах пара (УСКП пара) перспективно, так как данная технология позволяет достигнуть КПД угольного энергоблока свыше 50% [1], что обеспечивает экономию расхода топлива и способствует снижению выбросов таких вредных веществ, как оксиды азота и диоксид углерода. Необходимость в использовании никелевых сплавов, способных надежно работать при температуре пара 700–720°C, для главных паропроводов и высокотемпературных поверхностей нагрева ведет к значительному повышению капитальных затрат на строительство энергоблока. Одним из путей сокращения длин главных паропроводов является использование котла с инвертной топочной камерой.

Для обеспечения экономичного и экологичного режима работы инвертной топки при сжигании угля с использованием прямоточных горелок и сопел, требуется проведение исследования и оптимизации аэродинамики топочной камеры. Авторами предложена упрощенная численная модель для анализа аэродинамики топки в первом приближении, которая позволяет сократить затраты времени на проведение расчетов по сравнению с использованием полноценного численного моделирования топки с горением. Помимо таких результатов численного моделирования аэродинамики как линии тока и поля скоростей, упрощенная методика позволяет оценить перемешивание потоков в топочном объеме и получить поля массовых концентраций каждого типа воздуха (первичный, вторичный, третичный).

Проведенная оптимизация аэродинамики инвертной топки с использованием упрощенной численной модели позволила проанализировать несколько различных схем сжигания топлива и выбрать оптимальную, обеспечивающую надежное и эффективное сжигание топлива. Полученная схема будет исследована с использованием полноценного численного моделирования с процессами горения топлива, что позволит сделать окончательный вывод о ее эффективности.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90170\20.*

Литература

1. **Di Gianfrancesco, A.** (2017) The fossil fuel power plants technology. Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants, 1–49.

*А.В. Абрамов, асп; Ю.Р. Абайдуллина, студ.;
рук. М.М. Замалеев, к.т.н., доц. (УлГТУ, Ульяновск)*

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННО-БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ТЭЦ

В данной работе обсуждается проблема возможности термической переработки пластика на ТЭЦ, основной которой является использование парового экструдера. Повышение эффективности и инвестиционной привлекательности теплофикационных систем возможно за счет расширения функционала ТЭЦ, в частности, за счет разработки технических и технологических решений, направленных на эффективную термическую переработку коммунальных и производственных отходов методом экструзии. Экструзия это процесс, который заключается в механическом продавливании расплавленного полимера через калибрующее отверстие с соответствующим готовому изделию профилем. В процессе переработки пластиковых изделий работа на экструдере выполняется непрерывно, что позволяет обеспечить очень высокий уровень производительности, легкую автоматизацию процессов, экономичность и высокое качество продукции. В данной работе представлен способ термической переработки пластика на ТЭЦ за счёт значительных резервов пара производственного отбора, использование которого позволяет повысить тепловую экономичность тепловой электроэнергии за счет увеличения выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

По мнению авторов, существенно повысить энергетическую эффективность позволяет запатентованное решение (патент РФ № 193148) [1].

Особенностью предоставленного решения является использование пара производственного отбора с температурами 200–300°C в качестве греющей среды в экструдерах, размещаемых на городских ТЭЦ или в непосредственной близости от них.

Литература

1. **Патент 193148.** Узел плавления установки по переработке полиэтилена и полипропилена / М.М. Замалеев, В.И. Шарипов, А.В. Абрамов. // Бюллетень изобретений. — 2019. — № 20.

И.А. Кокулин, студ.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Приоритетами государственной энергетической политики Российской Федерации, в том числе являются: переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике; рациональное природопользование и энергетическая эффективность. Задача экономии топлива тесно связана с проблемой защиты окружающей среды. В настоящее время и в обозримой перспективе решение проблемы охраны окружающей среды становится определяющим не только при сооружении крупных топливно-энергетических комплексов, но и при реконструкции, расширении, техническом перевооружении действующих котельных и ТЭС. Одним из наиболее сложных и актуальных направлений среди экологических проблем теплоэнергетики является сокращение выбросов оксидов азота котельными установками.

С целью решения поставленных выше проблем, в данной работе авторами рассмотрен опыт использования специальных конденсационных котлов в коммунальной отопительной котельной ООО «Нижегородтеплогаз»:

1. Наблюдается конденсационный режим в течение 3800 часов со средним КПД 103%, 1200 часов — работа без конденсации с КПД 98%. Выигрыш в КПД наблюдается не только в конденсационном режиме (+10%), но и в режиме без конденсации (+5%) (расчет и оценка КПД производились по низшей теплоте сгорания топлива).
2. Изменена стратегия загрузки. С последовательной загрузки на параллельную работу котлов по причине прослеживания наибольших значений КПД при наименьших нагрузках котла (в соответствии с режимной картой котлов).
3. Высокие требования к качеству котловой воды, что влечет за собой рациональность использования двухконтурной зависимой схеме подключения, повышение качества водоподготовительных мероприятий, но также и повышение срока службы работы котельного оборудования.
4. Отказ от одноконтурной зависимой схемы подключения привел к усложнению тепловой схемы и усложнению её эксплуатации.
5. Сниженные выбросы и шум, низкая температура дымовых газов.
6. Необходимость нейтрализации и утилизации кислого конденсата.

Основными результатами внедрения конденсационных котлов в коммунальной отопительной котельной ООО «Нижегородтеплогаз» является повышение эффективности работы оборудования, снижение себестоимости производства тепловой энергии, а также снижение выбросов NO_x .

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: Селиванов Елисей Андреевич

К.М. Аунг, асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД НА-КАТИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ В КАЧЕСТВЕ ТЯЖЁЛОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ МЬЯНМЫ

В промышленности для реализации гравитационного метода обогащения энергетических углей в тяжёлосредных сепараторах в качестве тяжёлой (разделительной) среды применяют магнетитовую и водопесочную суспензии [1]. Преимуществом применения данных тяжёлых (разделительных) сред является возможность варьирования в широком диапазоне (от 1300 до 1700 кг/м³) плотности тяжёлой среды [1, 2]. Данная возможность позволяет добиться максимальной глубины обогащения угля. Однако, применение озвученных тяжёлых сред влечёт за собой следующие отрицательные стороны: трудность подготовки суспензии; необходимость непрерывной гомогенизации; наличие уноса-частиц утяжелителей в обогащённый уголь (концентрат угля); высокие затраты при эксплуатации связанные с первыми тремя пунктами. Решением обозначенных проблем может являться применение в качестве тяжелой среды высокоминерализованных водных растворов.

Автором представленного доклада предлагается использовать в качестве тяжёлой (разделительной) среды сточные воды Na-катионитного фильтра после регенерации его подземными природными хлоридными натриевыми рассолами. Концентрация этих рассолов в зависимости от проведения регенерации меняется. В свою очередь меняется и плотность сточных вод.

В результате проведённого исследования автором получены зависимости плотности используемой тяжелой среды от концентрации регенерационного раствора. И зависимости показателей эффективности процесса обогащения от плотности тяжёлой (разделительной) среды.

Литература

1. **Авдохин В.М.** «Обогащение углей»: учебник для вузов в 2 т. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. Т. № 1. «Процессы и машины» — 424 с.
2. **Авдохин В.М.** «Обогащение углей»: учебник для вузов в 2 т. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. Т. № 2. «Технологии» — 475 с.

Д.Ю. Миронова, студ.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ АМИНОВ НА ВЫНОС АЛЮМИНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

В настоящее время на ТЭС получили распространение водно-химические режимы с дозированием в конденсатно-питательный тракт комплексных реагентов, включающих в свой состав пленкообразующие и нейтрализующие амины. Эти реагенты используются для создания защитной пленки на поверхности металла пароводяного контура энергетических котлов. Механизм образования пленки зависит от типа амина и температуры, при которой происходит реакция [1].

Опытным путем было изучено влияние корректирующих реагентов на основе аминов (КВ-20, КВ-33, 90NTurbo, BRW150H) на скорость коррозии алюминиевого сплава в воде при температурах 25 и 60 °С и на вынос продуктов коррозии алюминия с поверхности алюминиевого сплава.

Для изучения влияния вышеуказанных реагентов на вынос алюминия образцы из алюминиевого сплава помещались в водные растворы, содержащие эти реагенты, на две недели. Концентрация водного раствора подбиралась таким образом, чтобы рН находился в диапазоне 8–8,5. По окончании опытов образцы вынимались из растворов и фотоколориметрическим методом определялась концентрация алюминия.

По результатам определения концентраций в растворах была рассчитана скорость выноса продуктов коррозии алюминия ($\text{мг/см}^2 \cdot \text{сут}$). При 25 °С наименьшая скорость выноса была при дозировании в КВ-33 — 0,0002 и BRW150H-0,0005. При 60 градусах: BRW150H-0,0013. Это говорит о том, что при использовании этих реагентов на поверхности металла образуется наиболее устойчивая защитная пленка.

Было установлено, что при температуре 60 °С вынос продуктов коррозии алюминия с поверхности сплава в среднем был в три раза больше, чем при 25 °С.

Таким образом, при повышении температуры теплоносителя, вынос алюминия с поверхности металла будет увеличиваться. Полученные данные коррелируются со скоростью коррозии использованного сплава алюминия в воде в присутствии указанных реагентов.

Литература

1. С.Ю. Суслов, А.В. Кирилина, Т.В. Зезюля, Е.А. Соколова, Е.В. Еремина, Н.В. Тимофеев. Комплексные реагенты на основе аминов // Теплоэнергетика 2017 № 3 с. 92–96.

М.Д. Фомичев, асп.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОБМЕНА В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС И АЭС

В настоящее время в атомной энергетике в связи со строительством мощных энергоблоков и недостатком маломинерализованных вод в местах строительства АЭС остро стоит вопрос выбора эффективных охладителей и их рабочих режимов с учётом состояния поверхностей теплообмена для их систем оборотного охлаждения (СОО) [1,2]. Такие системы должны обеспечить эффективный теплоотвод от конденсаторов турбин и другого охлаждаемого оборудования без ограничения располагаемой мощности АЭС. Одной из основных задач при этом является предотвращение и (или) удаление отложений в элементах технологического оборудования системы охлаждения. В этой связи разработка адекватных математических моделей процессов теплообмена (ТМО) в СОО, позволяющих оценить состояние оборудования и выполнить расчет технологических показателей его тепловой эффективности, является актуальной темой научных исследований.

Цель работы — разработка новых эффективных мероприятий, технологий и оборудования для совершенствования процессов ТМО в системах оборотного охлаждения с использованием градирен на ТЭС и АЭС путем их моделирования, расчета и оптимизации.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: во-первых, разработка матричной модели процессов ТМО в многопоточной многокомпонентной многоступенчатой системе охлаждения, где в качестве отдельных компонентов и потоков теплоносителей выступают циркуляционная вода, сухой воздух, влагосодержание воздуха, минеральные примеси в охлаждающей воде; во-вторых, на основе предложенных моделей разработать новые эффективные технологии и оборудование для обеспечения надежной работы системы оборотного охлаждения путем предотвращения отложения солей на элементах водораспределительных систем градирен.

Литература

1. **Абрамов, Н.Н.** Водоснабжение: учебник для вузов / Н.Н. Абрамов. — М.: Стройиздат, — 1974. — 480 с.
2. **Алиев, А.Ф.** Предотвращение накипеобразования в оборотных системах технического водоснабжения при использовании вод повышенной минерализации / А.Ф. Алиев / Теплоэнергетика. — 2006. — № 8. — С. 55–58.

*А.В. Лысенкова, студент;
рук. И.С. Никитина, к.т.н, доцент (НИУ «МЭИ»)*

ОЧИСТКА ЗАМАСЛЕННЫХ И ЗАМАЗУЧЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ТЭС

Развитие энергетических предприятий приводит к росту потребления воды и одновременно объема сточных вод, что влияет на экологическое состояние водоемов.

Для того, чтобы состав сточных вод не разрушал экосистему, были установлены нормы качества сбрасываемой воды. Согласно [1], ПДК по нефтепродуктам в природной воде рыбохозяйственного назначения составляет 0,05 мг/дм³, культурно-бытового назначения 0,1 мг/дм³. Фоновое содержание взвешенных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения высшей и 1 категории составляет 0,25 мг/дм³ и 0,75 мг/дм³ для 2 категории [2].

Обычно на ТЭС применяют последовательно несколько методов для достижения ПДК нефтепродуктов в воде. Выбор методов и оборудования в каждом конкретном случае производится отдельно по ряду факторов: показатели очищаемого стока, возможность повторного использования воды и утилизация примесей [3].

На современном рынке появилось достаточное количество сорбентов нового поколения. Сорбционный метод может применяться на энергетических объектах после флотации, как дополнительная ступень в схеме очистки для получения наибольшей степени очистки, которая удовлетворяла бы требованиям нормативных документов. Ужесточение требований к качеству воды природных водоемов приводит к необходимости изменения классических схем очистки замасленных и замазученных сточных вод на ТЭС. Чтобы очистить поток до 0,05 мг/дм³ необходимо дополнить схему еще одним сорбционным фильтром: Бак — Нефтеловушка — Флотатор — Механический фильтр — Сорбционный фильтр 1 ступени — Сорбционный фильтр 2 ступени.

Литература

1. **СанПин 2.1.4.1175-02.** «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников»
2. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 522.
3. **Абрамов А.И.** Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под ред. А.С. Седлова. — М.: Изд-во МЭИ, 2002.

С.К. Звонарева; рук. О.В. Егошина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОБЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

Перегретый пар является реперной точкой контроля в системах химико-технологического мониторинга и для своевременного обнаружения нарушений в процессе ведения водно-химического режима, необходимо непрерывно отбирать представительную пробу.

Так как одной из причин основных нарушений работы энергооборудования, приводящих к неисправностям работы оборудования, является образование отложений продуктов коррозии, в данной работе исследуется влияние изменения давления в процессе отбора пробы на концентрацию продуктов коррозии. По данным проведенных исследований [1], наибольшее количество отложений продуктов коррозии происходит на первых метрах после отбора пробы. Известно, что фактором, приводящим к образованию отложений, является изменение растворимости продуктов коррозии. Таким образом, когда фактическая концентрация продуктов коррозии в паровом растворе выше значений их растворимости, происходит процесс выделения твердой фазы из перегретого пара.

При постоянной температуре растворимость веществ в перегретом паре связана с его плотностью. Обобщенное уравнение растворимости, записывается следующим образом [2]:

$$\lg C_{\text{п}} = m \lg \rho_{\text{п}} - (\Delta H / 2,3RT) + B \quad (1)$$

где $C_{\text{п}}$ — равновесная концентрация примесей в паре, моль/кг; $\rho_{\text{п}}$ — плотность пара, кг/м³; m — координационное число; R — газовая постоянная; ΔH — тепловой эффект процесса растворения; T — температура пара, К.

Моделирование процесса отбора пробы перегретого пара показал, что характер изменения давления пара в пробоотборном устройстве — скачкообразный. С помощью уравнения 1 было рассмотрено изменение растворимости магнетита для интервала давления, в диапазоне которого изменяются параметры отобранного пара. Проанализировав результаты, сделан вывод, что при понижении давления растворимость магнетита уменьшается. Таким образом, использование типового пробоотборного устройства для отбора проб перегретого пара, где происходит резкое понижение давления, может приводить к нарушению представительности пробы из-за выделения твердой фазы магнетита.

Литература

1. **Воронов В.Н.** Водно-химические режимы ТЭС // МЭИ, 2009.
2. **Резников М.Н.** Котельные установки электростанций: Учебник для энергетических и энергостроительных техникумов // М.: Энергоатомиздат, 1987.

А.Ю. Котенко, студ.; рук. И.С. Никитина, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЧИСТКА ЛИВНЁВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ТЕРРИТОРИИ ТЭС

Повышение требований к качеству вод, сбрасываемых в природные водоёмы, приводит к необходимости изменения схем сточных вод. В работе рассмотрены вопросы возможности очистки и повторного использования сточных вод ливневой канализации в цикле ТЭС [1].

С учетом неравномерности осадков принято решение установить бак-накопитель, в который будут сливаться все ливневые воды с территории станции. В таком случае концентрация примесей и нефтепродуктов в воде, собранной за определенное время, будет усредняться. Бак размещается под землёй с устройством дополнительного технического помещения, в котором располагается насос. Вода обрабатывается постепенно: сначала насос подаёт собранную ливневую воду на механические фильтры для удаления взвешенных примесей, а затем, в зависимости от территориального расположения и технических требований, вода подаётся либо на установки по очистке воды от нефтепродуктов, либо на специальные сорбционные фильтры (рис. 1). Данная схема предполагает постепенное накопление ливневой воды в баках с последующей очисткой на оборудовании, которое есть на станции.



Рис. 1. Очистка ливневой сточной воды

После очистки воду можно использовать для нужд ТЭС: в циркуляционной системе (системе охлаждения) или на ВПУ. Однако подача данного типа воды на ВПУ для подпитки теплосети возможна, но нежелательна. В случае нестандартной ситуации нефтепродукты могут попадать в фильтр и загрязнять смолу. Поэтому самое оптимальное решение — использование очищенной воды в системах охлаждения. Сбрасывать в природный водоём очищенную до нормативных значений воду неэкономично.

Литература

1. **Готовцев П.М.** Очистка и повторное использование сточных вод тепловых электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

Е.Э. Новикова, студ.; рук. Т.И. Петрова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЖЕЛЕЗА

Одной из проблем определения концентрации железа в воде является содержание в воде примесей, которые могут влиять на точность определения. В настоящее время для коррекции качества воды на ТЭС используются комплексные реагенты, содержащие амины. Например, для коррекции качества охлаждающей воды в градирнях Геллера используется аммиак и этаноламин, а также предполагается применять новые реагенты, содержащие плёнкообразующие амины — KB-20, KB-33, 90NTurbo и BRW-150H и др.

В настоящее время для определения концентрации железа в воде на большинстве ТЭС используются два фотометрических метода: с использованием ортофенантролина и сульфосалициловой кислоты [1]. Приведено сравнение этих методов определения концентрации железа в обессоленной воде. Основное отличие этих методов состоит в том, что в первом определяется только двух-валентное железо, а во втором двух — и трёхвалентное железо. Таким образом, при одновременном использовании указанных методов определения могут быть получены данные по концентрации различных форм существования железа в воде. Был проведён анализ воды, в которой содержалось железо в концентрации 740 мкг/дм³. Анализ этой воды с использованием сульфосалициловой кислоты показал, что концентрация железа равна 734 мкг/дм³, а при использовании ортофенантролинового метода — 505 мкг/дм³. И это особенно важно в случае использования комплексных соединений для коррекции водно-химического режима.

Данные о влиянии комплексных реагентов, содержащих плёнкообразующие амины, на определение концентрации железа в воде этими методами отсутствуют. Поэтому было проведено исследование влияния комплексных реагентов KB-20, KB-33, 90NTurbo и BRW-150H на точность и минимально определяемую концентрацию железа в воде двумя вышеуказанными методами определения. Построены калибровочные зависимости при наличии в воде вышеуказанных реагентов и дано их сравнение с калибровочной кривой, построенной для обессоленной воды.

Литература

1. **Ю.А. Морыганова, О.В. Егошина, Н.А. Большакова.** Изучение химико-технологических процессов и определение основных показателей качества водного теплоносителя на ТЭС // Издательство МЭИ, 2018, 52 с.

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

А.С. Красичков, асп.; рук. В.Д. Буров, к.т.н., проф. (НИУ МЭИ)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА НА ПГУ-КЭС

Оценка экономической эффективности от установки рекуперативного теплообменника выполнена на примере блока ПГУ-КЭС 400 МВт Нижневартовской ГРЭС с газовой турбиной MS9001FA для первой ценовой зоны электроснабжения. Основные исходные данные для расчета: 1) варианты тепловых схем и результаты их расчет приведены в [1]; 2) проект реализуется за счет привлечения собственных средств заказчика и рассчитан на 15 лет; 3) ставка дисконтирования на весь срок реализации проекта — 11%. Оценка экономической эффективности выполнена по критерию чистого дисконтированного дохода (NPV) рассчитывается по формуле:

$$\text{ЧДД}(NPV) = \sum_{n=0}^i (\varphi \cdot \alpha)$$

где φ — денежный поток от инвестиционной и операционной деятельности;
 α — коэффициент дисконтирования.

Использование предварительного подогрева топлива на ПГУ-КЭС повышает показатели тепловой экономичности за счет перераспределения тепловых потоков между газовой турбиной (ГТ) и паровой турбиной (ПТ), в сторону увеличения вырабатываемой мощности ГТ и всей ПГУ-КЭС в целом [1]. Установка рекуперативного подогревателя (РВП) в тепловую схему ПГУ-КЭС требует дополнительных капитальных затрат. Денежный поток определяется с учетом стоимости реализации дополнительно выработанной электроэнергии и затрат на установку РВП.

За счет прибыли от операционной деятельности (дополнительной выработки электроэнергии), и сравнительно небольших капитальных затрат установка РВП в схему ПГУ-КЭС Нижневартовской ГРЭС инвестиционно привлекательна, ЧДД за весь срок проекта составит более 90 миллионов рублей; дисконтированный срок окупаемости составляет 11 месяцев.

Литература

1. **Буров В.Д., Красичков А.С.** Оценка влияния предварительного подогрева топлива на показатели тепловой экономичности ПГУ-КЭС // Энергосбережение и водоподготовка. — 2021. — № 3 — С. 14–18.

Йе В.А. асп.; рук. И.А. Бураков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЬЯНМЫ

В рамках реализации Национального плана электрификации Мьянмы доля использования угля в качестве основного вида топлива на планируемых к строительству энергетических объектах на территории республики Союз Мьянма должно достигать 33% от общего числа ресурсов топливно-энергетического комплекса [1]. Ряд угольных месторождений, расположенных в западной части республики (а именно месторождения Калева, Янгон и др.), помимо колоссальных запасов твёрдого топлива имеют в наличии значительный выход рудничного (шахтного) метана (газа). Величина выхода шахтного метана на угольных месторождениях мира на самом максимальном расчётам может достигать 35–40 м³ на тонну добытого твёрдого топлива [2].

В рамках реализации работы, направленной на повышение эффективности использования ресурсов угольных месторождений, энерго — и ресурсосбережения на территории Союза Мьянмы [1] автором доклада предлагается применять комплексную систему переработки и подготовки добытого угля и рудничного газа с последующим использованием полученной смеси синтетического и очищенного рудничного газа в качестве основного топлива на энергетических объектах Мьянмы. В схему переработки и подготовки основного ресурса угольных месторождений — твёрдого топлива входят последовательные ступени обогащения, получения искусственного композиционного жидкого топлива (ИКЖТ) (если последующая ступень переработки предполагает использование ИКЖТ в качестве исходного сырья) и последующей газификации с получением синтетического газа. На завершающем этапе переработки к полученному синтетическому газу подмешивается очищенный рудничный газ в соотношении 98% синтез-газа к 2% рудничного газа.

Литература

1. **Myanmar National Electrification Program (NEP) Roadmap and Investment Prospectus, Final Road Map and Investment Prospectus, September 2014.** — 78 pp.
2. **В.Ю. Жиряков и др.** «Подготовка шахтного газа для питания газопоршневых электростанций», «Территория Нефтегаз», № 8, 2013 г., стр. 82–85.

*Н.А. Татарникова, студ.; В.Р. Процкив, инж.;
рук. Р.Н. Такташев, к.т.н. (ОАО «ВТИ», Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН БГ-2100 И БГ-10000

Известно, что более 50% в общем аэродинамическом сопротивлении (АС) башенных испарительных градирен (БИГ) составляет АС оросителя. Таким образом, чем выше АС оросителя, тем меньше воздуха проходит через градирню при прочих равных условиях. Кроме того, чем выше коэффициент АС оросителя, тем выше эффективность теплообмена. Т.о. существует оптимальное значение коэффициента АС оросителя.

В последнее время на электростанциях РФ участились случаи снижения охлаждающей способности БИГ различной площадью орошения, проектируемых на перепад температур 10°С. При этом снижение охлаждающей способности БИГ составляет величину до 6°С. Одной из причин ухудшения охлаждающей способности БИГ является повышение АС БИГ, приводящее к снижению расхода поступающего воздуха. Одним из способов увеличения охлаждающей способности БИГ является исключение из оросителя нижнего слоя.

Были проведены расчеты охлаждающей способности градирен БГ-2100 и БГ-10000, используя методику, представленную в [1], при различных аэродинамических сопротивлениях чистого оросителя для климатических условий г. Уфа.

Таблица 1. Результаты расчетов

| Тип градирни | Кол-во слоев оросителя | Общее АС, кг/м ² | G, тыс. т/ч | t ₁ , °С | t ₂ , °С | Δt, °С |
|--------------|------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------|---------------------|--------|
| БГ-2100 | 2 | 58,3 | 14,5 | 42 | 33,2 | 8,8 |
| | 3 | 62,2 | 14,5 | 42 | 31,2 | 10,8 |
| | 4 | 66,1 | 14,5 | 42 | 30,9 | 11,1 |
| БГ-10000 | 2 | 48,3 | 120 | 42 | 29,9 | 12,1 |
| | 3 | 56,4 | 120 | 42 | 28,2 | 13,8 |
| | 4 | 67,0 | 120 | 42 | 27,8 | 14,2 |

Из таблицы 1 следует, что на ТЭС, оросители БИГ которых спроектированы с запасом по охлаждающей способности не менее 2°С, возможен ремонт градирен с уменьшением количества слоев оросителя при относительно невысокой потере охлаждающей способности.

Литература

1. **Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С.** Аэродинамический расчет башенных градирен при реконструкции. — Москва: ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО, 2000. — 7 с.
2. **Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А.** Устройство и расчет промышленных градирен: Монография. Казань: КГЭУ, 2004. — 180 с.

Е.С. Лытяков, асп.; рук. М.Е. Орлов, к.т.н., доц. (УлГТУ, Ульяновск)

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТЭЦ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УЗЛА ДЕАЭРАЦИИ ВОДЫ

Совершенствование технологических процессов, повышение энергетической и экономической эффективности ТЭЦ являются важными направлениями современных научных исследований.

Разработан и запатентован высокоэкономичный узел деаэрации добавочной питательной воды котлов ТЭЦ, в котором для охлаждения деаэрированной воды используется газо-водяной теплообменник-охладитель [1]. Главным преимуществом предложенной технологии является снижение температуры основного конденсата турбины после смешения с охлажденной добавочной питательной водой, за счет чего возрастает дополнительная выработка электроэнергии на тепловом потреблении. При использовании теплообменника-охладителя температура деаэрированной добавочной питательной воды снижается с 60°C до 56,37°C, что способствует понижению температуры и основного конденсата турбины после смешения двух потоков перед регенеративным подогревателем низкого давления.

В результате оценки по методике [2] энергетической эффективности предложенной технологии дополнительная выработка электроэнергии на тепловом потреблении равна 949,88 кВт в расчете на одну теплофикационную турбину Т-100-130.

Таким образом, на ТЭЦ при включении теплообменника-охладителя в узел деаэрации добавочной питательной воды экономия условного топлива составляет 1139,5 т/год, а экономия денежных средств — около 4,44 млн руб. в год [3].

Литература

1. Пат. 205220 U1. Российская Федерация. Узел деаэрации добавочной питательной воды котлов теплоэнергетической установки / М.Е. Орлов, Е.С. Лытяков, А.Д. Абулеев; заявитель и патентообладатель УлГТУ. № 2021105292; заявл. 01.03.2021; опубл. 05.07.2021. Бюл. № 19. 5 с.
2. **Шарапов В.И.** Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС // Труды Академэнерго. 2015. № 2. С. 27–37.
3. **Orlov M.E., Lytyakov E.S., Abuleev A.D.** Increasing the energy efficiency of combined heat power plants by reducing the temperature of the additional feed water of power boilers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 808. doi: 10.1088/1755-1315/808/1/012014.

А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КОНТАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ С УЧЕТОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Одним из направлений энергосбережения является максимальное использование теплоты сгорания топлива с одновременным получением конденсата из продуктов сгорания природного газа. Несмотря на большое количество научных публикаций по утилизации тепла дымовых газов на большинстве газовых котельных, энергетических предприятий и ТЭС в нашей стране конденсационные теплоутилизаторы не применяются. Этому есть ряд причин, вызванных отсутствием универсальных методик расчета и проектирования теплоутилизаторов конденсационного типа. Таким образом, разработка новых методов моделирования многопоточных теплообменных аппаратов с учетом фазового перехода в теплоносителях является актуальной задачей для энергетики и промышленности.

По способу использования математических моделей при проведении теплотехнических расчетов можно выделить прямые и обратные задачи. Прямые задачи предполагают выполнение конструкторского или поверочного расчетов, которые в первом случае необходимы для определения поверхности теплообмена и конструктивных размеров выбранного аппарата, а во втором случае для проверки возможности получения требуемых параметров теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата при фиксированных конструктивных параметрах. В обратных задачах реализуются проектные расчеты, которые ориентированы на одновременный подбор как конструктивных, так и режимных параметров работы теплообменных аппаратов, обеспечивающих наиболее эффективную работу оборудования, что сокращает общее время и количество расчетов.

Для решения обратной задачи теплопередачи в теплообменных аппаратах с учетом фазового перехода в теплоносителях используются матричные модели теплопередачи, построенные на дифференциальных уравнениях баланса массы и энергии. Результатом работы является разработанный метод расчета и выбора конструкций многопоточных теплообменных аппаратов с учетом фазового перехода в теплоносителях. Предложенный метод решения обратной задачи теплопередачи обеспечивает возможность одновременного поиска наиболее приемлемых значений параметров теплоносителей и конструктивных характеристик теплообменных аппаратов различного назначения. Для иллюстрации эффективности предложенного метода выполнено численное решение задачи по выбору конструкции контактного экономайзера парового котла ТЭС, используемого для утилизации тепла дымовых газов.

*В.Ю. Наумов, асп.; Н.С. Скляр, студ.;
рук. В.О. Киндра, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ С УТИЛИЗАЦИЕЙ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ В УГЛЕКИСЛОТНОМ ЦИКЛЕ РЕНКИНА

Существующие парогазовые установки (ПГУ) имеют высокую эффективность и являются наиболее развитой технологией производства электричества. Повышение эффективности парогазовых установок на протяжении последних 40 лет происходило, прежде всего, за счет увеличения начальной температуры газотурбинного цикла [1]. Сегодня уровень температуры на входе в газовые турбины достигает значений 1600–1700°С. Дальнейший рост начальных параметров затруднен в связи с необходимостью развития жаропрочных сплавов, термобарьерных покрытий и систем охлаждения.

Альтернативным способом повышения эффективности ПГУ является переход к тринарным циклам за счет интеграции дополнительных циклов на низкокипящих теплоносителях для утилизации низкопотенциальной теплоты различных источников.

Предложенная в настоящей работе тепловая схема ПГУ отличается наличием развитой системой регенеративного подогрева в паротурбинном цикле, а также наличием низкокипящего контура для утилизации теплоты уходящих газов котла-утилизатора. Установлено, что электрический КПД нетто разработанного тринарного цикла с одноконтурным котлом-утилизатором превышает на 0,84% электрический КПД нетто ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором при одинаковых параметрах работы газотурбинной установки и недогрева в котле-утилизаторе.

Исследование выполнено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках гранта № 21-79-00262.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. Москва: Издательство МЭИ. 2002. 584 С.

Д.Д. Львов, студ.; рук. В.О. Киндра, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКИХ ТУРБОУСТАНОВОК

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии долгие годы было основным способом обеспечения высокой энергоэффективности генерирующих объектах в СССР. Широкое распространение получили паротурбинные энергоблоки с промышленным отпуском пара, снабженные противоавтоматическими турбинами семейств Р-50 и Р-100. Их применение позволяло достигать максимального снижения потерь тепловой энергии. Однако после распада СССР потребность в промышленном паре резко сократилась. В результате многие паротурбинные установки, производящие промышленный пар, забираемый с выхлопа паровой турбины, пришлось вывести из эксплуатации.

Существенно сократить потери в холодном источнике противоавтоматических турбоустановок можно путем их перевода в конденсационный режим работы. При этом осуществить их модификацию возможно двумя способами: за счет установки приключенной турбины низкого давления, либо энергоустановки, работающей на низкокипящем теплоносителе.

Результаты проведенных термодинамических исследований позволили установить, что выбор способа модификации энергоблока будет существенно зависеть от температуры наружного воздуха (рисунок 1).

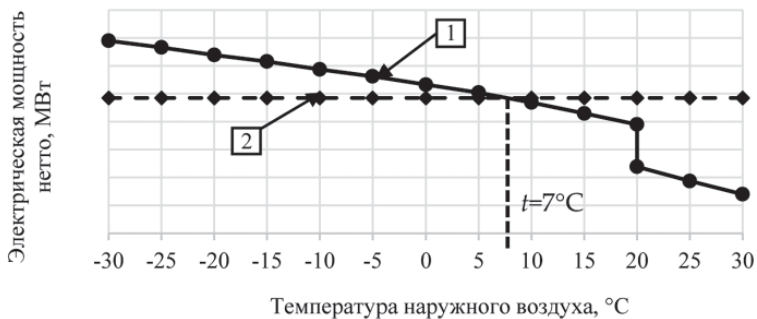


Рис. 1. Влияние температуры наружного воздуха на отпускаемую электрическую мощность модифицированных противоавтоматических турбоустановок.

Примечание: 1 — энерго-установка, работающая на низкокипящем теплоносителе, 2 — энергоустановка с приключенной турбиной низкого давления

Результаты исследования получены в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.

Ключевые слова: противоавтоматическая турбоустановка, низкопотенциальная теплота, низкокипящий теплоноситель.

Д.А. Лымарев, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент. («НИУ «МЭИ»)

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ РЕГУЛИРОВОЧНОГО ДИАПАЗОНА ТЭЦ

Нагрузки в энергосистемах характеризуются суточной и сезонной неравномерностью, возрастающей по мере роста доли бытовых нагрузок в энергопотреблении. При этом, увеличение доли АЭС и ВИЭ, не обладающих высокой манёвренностью, усложняет процесс регулирования мощности.

Участие ТЭЦ в регулировании мощности энергосистемы также имеет ряд ограничений, поскольку наиболее экономичным режимом для ТЭЦ является работа по тепловому графику, при которой электрическая мощность зависит от количества и параметров отпускаемого тепла. В периоды провала нагрузки наиболее простым способом снижения электрической мощности такой станции является разгрузка с передачей части тепловой нагрузки на ПВК, приводящее к увеличению удельных расходов теплоты на выработку электроэнергии. Другим способом повышения манёвренности ТЭЦ является применение схем с дополнительным сетевым подогревателем, подключённым через РОУ к котлу.

Для снижения неравномерности графика нагрузки также возможно использовать аккумулирование водорода. В таком случае, в часы провала нагрузки возможно не снижать выработку электрической мощности и тепловой энергии, затрачивая избыток генерируемой электроэнергии на производство водорода путём электролиза воды. Полученный водород в дальнейшем может сжигаться в топке котла, например, для вытеснения мазута, используемого в качестве подсветки при сжигании твёрдого топлива, может быть использован в топливном элементе для получения пиковой энергии в часы пиковых нагрузок или использован для продажи в качестве товарного продукта. Помимо этого, экономический эффект может быть достигнут на твердотопливных станциях за счёт замещения мазута, необходимого для подсветки твёрдого топлива.

При сжигании водорода на твердотопливных ТЭЦ, за счёт снижения затрат мазута на подсветку или на работу ПВК, а также благодаря обеспечению работы ТЭЦ по тепловому графику с максимальной эффективностью можно добиться сокращения затрат на топливо. Использование топливных элементов позволяет расширить верхнюю границу регулировочного диапазона ТЭЦ и обеспечить покрытие пиковых нагрузок.

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.А. Савелков, студ.; Д.Д. Голдобин, асп.;
рук. С.Н. Петин, к.т.н., доц.*

ТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОБЛОКА Т-250/300-240, С ЦЕЛЮ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Водород является перспективным энергоносителем, использование которого приводит к повышению эффективности высокотемпературных процессов. Внедрение производства водорода в существующие технологические высокотемпературные процессы на объекты его непосредственного использования позволит отказаться от применения технологий транспортировки и хранения водорода, а также позволит снизить удельные затраты энергоресурсов на производство водорода за счет применения вторичных энергоносителей.

Повышение энергетической эффективности производства энергоносителей возможно по пути мультигенерации. Мультигенерация — это совмещенное одновременное производство на объекте генерации не менее двух энергоносителей, а также иных полезных продуктов, из единственного первичного энергоносителя. Использование водорода повышает эффективность тепловой электростанции (ТЭС). Получено, что перевод ТЭС в режим мультигенерации выгоднее существующего режима работы почти в 2 раза. [1].

В работе производится анализ действующих установок производства водорода и оцениваются типовые размеры существующих установок для определения возможности их эффективного размещения в помещениях станции. Производство водорода на ТЭЦ будет организовано в главном корпусе станции со стороны временного торца, где имеется запас места, и кладка стены спроектирована так, что ее легко демонтировать.

В работе рассматриваются технологическая схема производства водорода на объекте генерации совместно паротурбинным блоком. На энергоблоке в результате сжигания природного газа происходит генерация пара, используемого для производства тепловой и электрической энергии. Полученный в результате производства водорода пар и синтез-газ, в первом варианте направляется на производство дополнительной электроэнергии, а во втором синтез-газ направляется в котел энергоблока для экономии природного газа [2].

Литература

1. **Клименко А.В., Агабабов В.С., Корягин А.В., Петин С.Н., Коршикова А.А., Борисова П.Н.** Основы мультигенерации. учеб. Пособие // М: Изд-во МЭИ, 2019.
2. **Попов С.К., С.Н. Петин, И.Н. Свистунов, В.А. Ипполитов** Повышение эффективности теплотехнологий при использовании природного газа и кислорода — М.: Издательство МЭИ, 2018. 192 с.

Д.И. Левенок, асп.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доцент («НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ЁМКОСТИ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

Исследования применения тепловых аккумуляторов сетевой воды, для расширения регулировочного диапазона теплофикационных турбин, с каждым годом становятся всё более актуальными. В первую очередь это связано с ростом неравномерности нагрузок в течение суток и с увеличением доли генерирующих объектов на базе возобновляемых источников энергии. Что существенно влияет на роль ТЭЦ при покрытии графика нагрузки и требует от станций улучшенных показателей манёвренности [1].

Оптимальная емкость системы аккумулирования (СА) зависит от присоединённой к ТЭЦ тепловой нагрузки, единичной мощности и характеристик установленных турбоагрегатов, а также температурного графика теплосети, представленные результаты исследований получены для ТЭЦ с тепловой нагрузкой 10000 Гкал/ч, с турбоагрегатами типа Т-110-130 для условий работы в центральном регионе России. В качестве критериев эффективности приняты, срок окупаемости и уровень расширения регулировочного диапазона ТЭЦ.

Результаты расчетов представлены на рис. 1. Из рис. 1 следует, что по мере роста числа агрегатов оптимальная ёмкость СА сначала интенсивно нарастает, а потом стабилизируется. Это связано с уровнем загрузки оборудования в течение отопительного сезона, с коэффициентом теплофикации и другими факторами, которые были учтены при исследовании.

При работе на станции трёх и более турбин оптимальная ёмкость СА практически не меняется и равна 25000 м³. При этом, минимальный срок окупаемости при изменении числа турбин от 3 до 5 составляет 4,61–4,35 года соответственно.

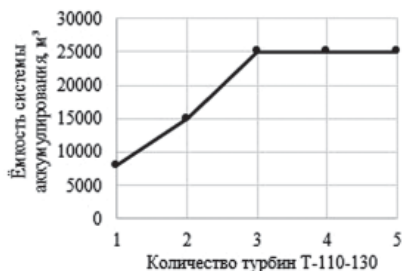


Рис. 1. Оптимальная емкость системы аккумулирования в зависимости от количества турбин

Литература

1. Аракелян Э.К., Ильин Е.Т., Роголев Н.Д. Режимы работы и эксплуатация ТЭС. — М.: Издательство МЭИ, 2021. — 520 с.

*Е.Ю. Голохвастов, И.И. Бердышев, Д.М. Габдушев, студенты;
рук. М.В. Бурмейстер, ассистент (НИУ «МЭИ», Москва)*

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ПЕРЕВОДА ПАРОВЫХ ТУРБИН В РЕЖИМ УХУДШЕННОГО ВАКУУМА И ТЕКУЩЕГО ИСПОЛНЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ТЭЦ

В тепловом балансе паротурбинной установки основной тепловой потерей является потеря тепла с охлаждающей водой, она составляет 3/4 от всего тепла, который приходит со свежим паром. Непосредственное её использование для отопительных или производственных целей затруднено низкой температурой воды (около 30°C), выходящей из конденсатора. Полезное применение тепла для целей теплоснабжения составляет менее 30%. Одним из решений проблемы по повышению КПД является перевод работы паровых турбин ТЭЦ на режим с ухудшенным вакуумом и использованием конденсатора в качестве бойлера [1].

Перевод турбины на режим ухудшенного вакуума технологически не сложен и осуществляется ремонтными организациями без обращения к турбинным заводам. Однако необходимо учитывать ограничение повышения конечного давления и температуры выхлопного патрубка. Превышение этих параметров может привести к аварийному отключению турбины [2].

В данной работе был проведен анализ экономической целесообразности перевода паровых турбин для ТЭЦ-11. Переход на режим ухудшенного вакуума осуществляется для двух турбин Т-116 и Т-60. Экономическая оценка основана на сравнении двух вариантов: стандартного исполнения турбоустановок и с учетом модернизации. Основным показателем эффективности внедрения является величина экономии расхода топлива, выраженная в денежном эквиваленте. При расчетах учитывается инфляция, ставка рефинансирования, амортизационные отчисления, а также риски инвестиций в электроэнергетику.

Результаты расчета показали, что перевод конденсационных турбин на ухудшенный вакуум эффективнее по экономическим показателям по сравнению с текущей реализацией тепловой схемы ТЭЦ-11. Экономия топлива при модернизации турбин за один отопительный сезон составляет 1–2 тонны на каждый киловатт установленной мощности турбины.

Литература

1. **Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.** Паровые и газовые турбины для электростанций // под редакцией А.Г. Костюка. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. — 557 с.
2. **Шелудько Л.П., Абрамова А.Ю., Шамшурина Г.И.** Выбор оборудования и расчет тепловой схемы ТЭЦ // Учебное пособие. Шелудько Л.П., Ткачев О.А. Самара, 1997.

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

*Н.А. Полуэктова, н.с.; А.А. Никифоров, м.н.с.;
рук. А.Г. Чаплин, н.с. (ВТИ)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОЧИСТКИ ТУРБИННОГО МАСЛА

Новые технологии и установки на первых этапах создаются как экспериментальные и часто уникальные, поэтому требуют индивидуального подхода к автоматизации. В таких случаях важны подбор используемых средств автоматизации и создание алгоритмов автоматического управления.

В данной работе представлена разработанная система автоматического управления (САУ) экспериментальной установкой очистки масла ОМТИ, применяемого в паровых турбинах тепловых электростанций. Возможность очистки этого масла важна с экономической и экологической точек зрения. Оно не подлежит утилизации, но после очистки может использоваться повторно.

САУ установки очистки масла была создана в 2020 г., испытана и введена в работу на Пермской ГРЭС в 2021 г. Особенностью установки является необходимость круглосуточной работы в автоматическом режиме. Технологические процессы (загрузка масла, адсорбция, осушка, фильтрация) идут циклически и параллельно друг с другом. Для каждого процесса была создана соответствующая программа, которая может запускаться как оператором (полуавтоматический режим для наладки), так и главной (основной) программой, обеспечивая заданную последовательность выполнения (автоматический режим).

САУ реализована на базе технических средств компании «ОВЕН», её основные компоненты: программируемый контроллер, модули ввода-вывода, сенсорная панель оператора, объединенные сетью RS-485. Программирование выполнено в среде CoDeSys. САУ разработана с учётом опыта разработки систем управления в ВТИ [1, 2].

Автоматизация установки очистки масла позволила обеспечить её надёжную эксплуатацию, возможность оптимизации режимов работы и проведения необходимых исследований.

Литература

1. Чаплин А.Г., Паршутин М.Е., Полуэктова Н.А., Никифоров А.А., Радькова О.В. Опыт ВТИ по разработке систем автоматического управления технологических установок // Энергетик». 2021. № 7.
2. Полуэктова Е.А. Разработка системы автоматического управления комплексной установкой приготовления и дозирования реагентов // Энергетик. 2015. № 11.

А.С. Штыленко, студ.; рук. Э.К. Аракелян, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОБЛОКА ПГУ-450 НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПАРОВОЙ И ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

В классической теории автоматического управления автоматические системы регулирования объектов рассчитываются с использованием типовых линейных законов регулирования. Однако, как показывает практика, реальные объекты регулирования представляют собой сложные нелинейные элементы, которые в процессе нагрузки или разгрузки изменяют свои параметры. Т.к. контроллеры настраиваются на линейную модель объекта, то принимаемые в расчете ограничения и условия оптимальности будут выполняться лишь в конкретном режиме, которому соответствует данная модель.

Изменение условий работы объекта неизбежно повлечет за собой изменение качественных характеристик АСР. Так же возможна ситуация, что при изменении режима работы объекта система регулирования может выйти за пределы накладываемых на запас устойчивости ограничений или, в крайнем случае, выйти за пределы границы устойчивости. Все это может привести к выходу из строя оборудования или создать аварийную ситуацию на энергоблоке.

Для понимания качественного влияния степени нагрузки энергоблока на переходные процессы паровой и газовой турбины в данном исследовании будет рассмотрена режимная карта ПГУ-450 при разгрузке энергоблока с 450 до 315 МВт соответственно. Также в исследовании проведена работа по определению переходных процессов, расчет параметров модели для каждого участка разгрузки парогазовой установки.

По завершению исследования будет представлено наглядное изменение переходных процессов паровой турбины и предложена идея учета изменения параметров модели объекта управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-19-00601)

Литература

1. **Аракелян Э.К., Пикина Г.А.** Оптимизация и оптимальное управление: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2008, — 408 с.
2. **Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И.** Автоматические системы регулирования на основе нейросетевых технологий. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, С. 45–51.
3. **Ротач, В.Я.** Теория автоматического управления: учебник для вузов — 5-е изд., перераб. и доп. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 396 с.:ил.

К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

На тепловых электростанциях (ТЭС) в течение длительной эксплуатации паротурбинных установок (ПТУ) из-за естественного физического износа функциональных узлов ПТУ происходит снижение надежности и экономичности ее работы. Основным источником информации об изменении технологических и технико-экономических показателей узлов ПТУ, которые оказывают наибольшее влияние на ее надежность и экономичность, с целью своевременного выявления неисправностей являются результаты специально организованных нормативных испытаний [1]. С учетом высокого уровня оснащения контрольно-измерительными приборами (КИП) основного и вспомогательного оборудования ТЭС анализ информации, получаемой от КИП, с помощью интеллектуальных экспертных систем диагностики, использующих методы машинного обучения, способен качественно изменить подход к организации системы эксплуатационного контроля на ТЭС.

В связи с этим целью данной работы является разработка интеллектуальной экспертной системы диагностики ПТУ. На первом этапе работы определены основные неисправности и их признаки для конденсатора паровой турбины [2], а также была выбрана самоорганизующаяся карта Кохонена в качестве нейронной сети, позволяющая выполнять задачи кластеризации и визуализации данных. Для обучения нейронной сети использована обучающая выборка данных, созданная за счет моделирования основных неисправностей путем использования существующих методик теплового расчета, а также конструкторских и эксплуатационных характеристик.

Созданная экспертная систем диагностики технического состояния основного и вспомогательного оборудования ТЭС позволяет выбрать более обоснованную программу ремонта и технического перевооружения и реконструкции оборудования электростанции.

Литература

1. **Методические указания по тепловым испытаниям паровых турбин:** СО 34.30.740. — М.: Союзтехэнерго. — 1986. — 102 с.
2. **Капелович, Б.Э.** Эксплуатация паротурбинных установок / Б.Э. Капелович. М.: Энергоатомиздат, — 1985. — 304 с.

А.А. Никифоров, м.н.с., А.Г. Чаплин, н.с.;
рук. Н.В. Зорченко, к.т.н. (ВТИ)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В РЕЖИМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

В настоящее время все тепловые электростанции (ТЭС) России участвуют в общем первичном регулировании частоты (ОПРЧ), а часть электростанций — в нормированном (НПРЧ) [1].

Работа генерирующего оборудования ТЭС в режиме НПРЧ оценивается с помощью набора критериев, для чего используются статистические методы обработки данных. Эти методы не всегда дают корректную оценку. ВТИ был разработан собственный метод оценки двух основных критериев — проверки соответствия мертвой полосы и статизма первичного регулирования требуемым значениям [2]. Для него разработано программное обеспечение, позволяющее проводить оценку по исходным данным в автоматическом режиме.

Работа электростанций, участвующих в ОПРЧ, оценивается при отклонениях частоты на 0,2 Гц и более от номинального значения 50 Гц длительностью не менее 30 секунд [3]. Оценка осуществляется путем сравнения величин фактического и требуемого изменения мощности генерирующего оборудования от исходного значения при зафиксированном отклонении частоты. В ВТИ разрабатываются математический подход и программное обеспечение, позволяющее в автоматическом режиме проводить такую оценку.

Также в ВТИ проводятся исследования возможности оценки параметров системы регулирования турбины (например, построения нагрузочной характеристики) по данным реальной работы генерирующего оборудования в энергосистеме.

Литература

1. **ГОСТ Р 55890-2013.** Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и переговок активной мощности. Нормы и требования. — М.: Стандартинформ, 2014.
2. **Никифоров А.А., Зорченко Н.В., Чаплин А.Г.** Методика определения фактических значений статизма и «мертвой полосы» первичного регулирования оборудования ТЭС // Теплоэнергетика, 2021. № 8.
3. Требования к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты (утв. Приказом № 2 от 09.01.2019 г. Министерства энергетики Российской Федерации).

*Н.В. Радькова, инж., О.В. Радькова, м.н.с.;
рук. А.Г. Чаплин, н.с. (ВТИ)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Модельные исследования работы оборудования тепловых электростанций в различных режимах, его динамических характеристик — важная задача. На работающем оборудовании не всегда есть возможность проводить испытания, выполнить серии опытов. В настоящее время время вводится в строй новое оборудование, появляются новые требования к его работе. Поэтому разработка адекватных и представительных математических моделей оборудования тепловых электростанций — актуальная задача.



Рис. 1. Упрощённая модель канала «положение клапанов — мощность» газовой турбины

из зарубежных источников [1] разработана упрощённая модель газовой турбины.

Из представленного набора моделей оборудования в среде Matlab Simulink построены модели паросилового энергоблока и энергоблока ПГУ. На них проведены исследования процессов регулирования мощности и частоты в энергосистеме, проводятся другие исследования, например моделирование совместной работы регулятора скорости и регулятора мощности энергоблока.

Литература

1. **Dynamic Models** for Turbine-Governors in Power System Studies, IEEE Power & Energy Society, January 2013.

*А.А. Ибадов, асп.; Д.В. Сергеева, студент;
рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВОЛН ЛЭМБА В ДЕФЕКТНЫХ И БЕЗДЕФЕКТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Применение современных методов неразрушающего контроля обусловлено необходимостью своевременного мониторинга состояния технических трубопроводов, которые под влиянием внешних и внутренних факторов эксплуатации подвергаются деградации материала.

В работе предлагается исследовать возможность применения волн Лэмба для мониторинга продольных и поперечных дефектов энергетических трубопроводов путем контроля изменения диаметра объекта [1].

Условием возникновения волн Лэмба является резонанс объемных волн при падении под определенным углом. Возбуждение происходит за счёт падающей на границу раздела сред продольной волны, которая зависит от фазовой скорости волны Лэмба и определяется по дисперсионным кривым. В свою очередь фазовая скорость волны зависит от свойств материала исследуемого объекта, частоты колебаний и толщины слоя.

При этом волны Лэмба могут возбуждаться как в твердых объектах, так и в жидких средах. Необходимым является условие соизмеримости толщины слоя с длиной объемной волны в слое. В твердых средах свойства волны, как дисперсия и многомодовость выражаются сильнее, чем в жидких.

В связи со свойством волны Лэмба сохранять скорость при распространении в твердой среде на большие расстояния, они нашли широкое применение для контроля тонких листов, оболочек и труб. Изменение сечения волновода, дефекты и неоднородности вызывают отражение волн Лэмба.

Однако, при увеличении толщины исследуемого объекта возможна трансформация волн Лэмба в поверхностные волны Рэлея, что приведет к искажению результатов мониторинга [2]. Необходимо дальнейшее изучение в целях применения в диагностике объектов сложной формы.

Литература

1. **Ибадов А.А., Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О.** Исследование зависимости фазовой скорости волн Лэмба от технического состояния трубопроводов ЖКХ / Материалы 92-го заседания Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко — Казань: ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2020. — С. 283–287.
2. **Зацепин А.Ф., Щербинина В.Е.** Акустические измерения: учебное пособие для вузов — Москва: Издательство Юрайт, 2017. — с. 209.

*В.Ю. Стрелков, Г.В. Росляков, студенты;
С.В. Мезин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

На данный момент в мире идет активное развитие перспективных технологий управления искусственного интеллекта. В различных современных задачах все чаще прибегают к искусственным нейронным сетям, как к пути наилучшего решения. Однако стоит обратить особое внимание на подбор правильной структуры и формирование критериев для решения конкретной задачи.

В данной работе будет рассмотрена одна из основных частей ANFIS — адаптивная нейро-нечёткая система вывода. Данная система будет использоваться в качестве регулятора в автоматической системе регулирования уровня воды в барабане котла в зависимости от расхода питательной воды и расхода пара на турбину, а также от текущего положения уровня[1].

В силу сложности и большого объёма работ, в данной статье рассматривается лишь классификатор — база знаний классической нечёткой логики в представлении её перцептроном. Это позволит сделать базу знаний о принятии решений более гибкой при составлении экспертных оценок в спорных ситуациях при регулировании сложными комплексами технологических систем[2].

В результате были получены:

Графики переходных процессов для различных способов регулирования технологического параметра без использования и с использованием классификатора.

Сравнительный анализ показателей качества различных структур перцептрона при рассмотрении задачи классификации.

Литература

1. **В.Я. Ротач** — «Теория автоматического управления» — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **С.Д. Штовба** — «Проектирование нечетких систем средствами MATLAB» — М.: Горячая линия — Телеком, 2007.

*Е.Ю. Голохвастов, И.И. Бердышев, Д.М. Габдушев, студенты;
рук. Р.В. Булатов, ассистент (НИУ «МЭИ», Москва)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛА В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

Системы централизованного теплоснабжения обеспечивают тепловой энергией примерно 75% всех потребителей в России, при этом около 35% потребности в тепловой энергии обеспечивают теплофикационные системы [1].

В системах централизованного теплоснабжения России, как правило, применяется качественное регулирование отпуска тепла, при котором расход теплоносителя поддерживается постоянным в течение всего отопительного периода, а количество поставляемой теплоты регулируется путем изменения температуры воды, поступающей к потребителю [2]. Недостатком такого подхода является то, что в переходные периоды (начало и конец отопительного периода) при определенной температуре наружного воздуха, отопление не регулируется, а потребитель получает избыток тепла, в результате чего затраты на отопление в переходные периоды оказываются завышенными.

Количественный метод предполагает поддержание постоянства температуры теплоносителя, то есть температуры прямой воды [2]. При таком регулировании каждый абонент потребляет необходимое ему для создания комфортных условий количество воды. Недостатками данного метода являются проблемы согласования гидравлических характеристик потребителей и тепловой сети, так как расход теплоносителя разными потребителями должен быть одинаков, а при увеличении числа абонентов, а также расстояния между ними и поставщиками тепла, такое согласование становится еще более сложным.

Целью данного исследования являлось определение наиболее эффективного метода регулирования отпуска тепла в системе теплоснабжения города Москвы на основе анализа действующих методов регулирования в России.

В результате работы был предложен качественно-количественный метод регулирования отпуска тепла, позволяющий повысить эффективность работы системы теплоснабжения города Москвы.

Литература

1. **Шарапов В.И., Орлов М.Е.** Технологии обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения. — М.: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2006.
2. **Макаров А.А.** Методы оценки эффективности теплоснабжающих предприятий // Российское предпринимательство. № 5 (2). М., 2011.

*А.В. Шеповаленко, студент;
Е.И. Мерзликина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ АСР С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

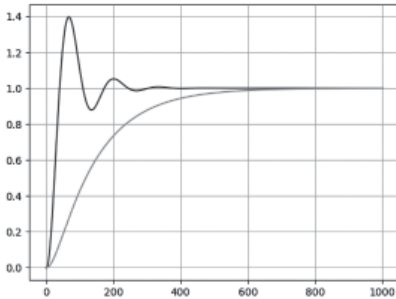


Рис. 1. График переходных процессов для одноконтурной АСР
Синий график — переходный процесс в АСР с классическим ПИ-регулятором, оранжевый график — переходный процесс в АСР с нечетким регулятором

Для сравнения классического ПИ-регулятора с нечетким ПИ-регулятором была разработана программа для одноконтурных АСР с классическим ПИ-регулятором и нечетким ПИ-регулятором. Были получены графики переходных процессов. Из графиков видно, что нечеткий ПИ-регулятор работает лучше.

Литература

1. **Кирдяев М.М.** «Обзор языка программирования Python для решения задач математического моделирования» // Пенза: Труды международного симпозиума «Надежда и качество», 2016. Том: 1, с. 305–307.

Целью данной работы является моделирование одноконтурной АСР с нечетким регулятором с использованием языка программирования Python и сравнительный анализ классического и нечеткого ПИ-регуляторов.

Python — это язык программирования высокого уровня, созданный Гвидо Ван Россумом, который повсеместно используется в качестве средства научного программирования.

Для Python разработаны импортируемые библиотеки NumPy и Matplotlib, позволяющие моделировать динамические системы наравне с Matlab. Python является бесплатным продуктом, поэтому он был выбран в качестве реализации алгоритмов. [1]

Секция 48
ТЕПЛОТЕХНИКА И МАЛАЯ
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА
Heat engineering and small distributed
power engineering

Председатель секции: к.т.н. Мереуца Евгений Васильевич

Секретарь секции: Королева Анастасия Павловна

А.Е. Ананьев, студ.; рук. А.В. Корягин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ ТУРБИН В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

В области энергетики широкое распространение получили газотурбинные установки. При их проектировании принимается, что параметры окружающей среды стандартны, однако на практике эти параметры не постоянны, и при эксплуатации ГТУ изменяются, вследствие чего изменяются и основные характеристики газовой турбины. При увеличении температуры окружающего воздуха от расчетного значения в $+15^{\circ}\text{C}$ до величины $+35^{\circ}\text{C}$, мощность газотурбинной установки может снизиться на 25% от номинального значения [1]. Чтобы предотвратить такие нежелательные явления, необходимо охлаждать воздух на входе в компрессор.

Одним из методов реализации этого является впрыск воды. Расчеты показывают, что для Москвы и области использование данного способа не обеспечивает удовлетворительный результат. Температура воздуха в таком случае снизится на $2,9^{\circ}\text{C}$, что даст прирост в величине работы ГТУ в 1.29% от номинального значения.

К числу альтернативных методов относится применение систем охлаждения на основе АБХМ. Для реализации такой системы произведен расчет теплообменного аппарата — калорифера, устанавливаемого в комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ). Выполнено условие, исходя из которого сопротивление, оказываемое калорифером воздуху, не превышает максимально допустимого значения.

Была рассмотрена возможность установки теплообменного аппарата типа труба в трубе на выхлопе ГТУ с целью обеспечения АБХМ необходимой тепловой энергией. Также произведен расчет теплообменного аппарата, устанавливаемого непосредственно в газопровод по пути движения выхлопных газов. Результаты расчетов показывают эффективность и экономичность данного метода, при этом затраты на топливо не изменяются.

Литература

1. **Боровков, В.М. Абу-Рахма, Т.М.** Влияние окружающей температуры воздуха на мощность газовой турбины // Проблемы энергетики. — 2006. — № 1–2. — С. 3–7.

*Н.Ф. Сахибгареев, студент;
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛОВ С ВИХРЕВЫМИ ПОТОКАМИ

Использование течений с закрученными вихревыми потоками в энергетике связано с решением проблемы интенсификации тепломассообменных процессов, в частности повышения теплоотдачи, и создании новых энергетических и тепло-массообменных аппаратов [1–2]. Наиболее простым и эффективным способом интенсификации является закрутка потока текучей среды в кольцевых каналах рекуперативных установок (труба Фильда) [3].

В данной работе предлагается использовать трубу Фильда с равномерными по окружности отверстиями на нижнем конце внутренней трубы. Целью данной работы, для решения которой была создана данная конструкция, является интенсификация теплоотдачи от текучей среды к внутренней стенке внешней трубы в трубе Фильда.

Конструкция представляет собой кольцевой канал длиной 130 мм и круглый внешний канал длиной 102 мм, диаметр внешней трубы 100 мм, толщина внешней и внутренней трубы 2 мм, диаметр внутренней трубы 67 мм, высота щелей 16 мм, толщина дна 2 мм. Внизу внутренней трубы выполнено 8 щелей, равномерно расположенных по всей окружности диаметром 65 мм.

Проведенные исследования показали, что для теплообменного аппарата типа трубы Фильда с равномерными отверстиями на нижнем конце внутренней трубы коэффициент теплоотдачи увеличивается в среднем на 50 % при течении воды и на 100 % при движении воздуха. При этом гидравлическое сопротивление устройства увеличивается незначительно.

Литература

1. **Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г.Х.** Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. — 2018. — Т. 21. — № 2. — С. 99–103.
2. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р.** Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 2 (26). С. 60–74.
3. **Леухин Ю.Л., Сабуров Э.Н., Осташев С.И.** Конвективный теплообмен в кольцевом канале с циклонным генератором закрутки // Известия вузов. Энергетика. 1990. № 9. С. 86–90.

Н.Д. Бакленев, студ.; рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОИЗВОДСТВО ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Современная инженерия стремится сделать любое устройство более легким и компактным, и при этом сохранить конструктивную стойкость. На промышленных уровнях, уменьшение массы устройства с сохранением прочности ведет к увеличению времени производства, что влияет на финансовую составляющую. Исходя из этого, производства остаются верны старым методам изготовления. В последнее время для производства моделей, состоящих из естественных и синтетических полимеров, используют аддитивные технологии, 3D-печать, что положительно сказывается на времени изготовления. Естественно это распространилось и на многие другие отрасли производства. И отрасли производства, использующие металл для изготовления конструкций.

За основу исследования была взята пористая структура, используемая для тепловой трубы [2], участвующая в охлаждении радиоэлектронного оборудования. В исследовании рассматривались процесс 3D-моделирования пористой структуры и возможность печати с помощью аддитивных технологий, использующих в качестве материала, металл [1].

В качестве исходных материалов использовались металлы с высокой теплопроводностью для получения высокой эффективности теплообменного аппарата. Были проанализированы способы печати металлом.

В результате исследования был определен более эффективный способ печати. Была определена подходящая величина фракции металлической пыли для использования при точечной печати. В результате моделирования, рассмотрена возможность уменьшения массы с сохранением прочности конструкции. Была произведена оценка соотношения трудоемкости при использовании аддитивных технологий к трудоемкости стандартного производства.

Литература

1. **Pelin C., Stoikan G., Stefan A., Pricop M., Ilina S., Pelin G.** Mechanical properties of 3D printed metals. [Электрон. ресурс] (PDF) Mechanical properties of 3D printed metals (researchgate.net)
2. **Чи С.,** Тепловые трубы: Теория и практика / Перевод с английского В.Я. Сидорова. — М.: Машиностроение, 1981. — 60 с.

В.В. Шаронов, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОЖИДКОСТИ

Известно, что в настоящее время проблема интенсификации процессов теплообмена одна из важнейших и ключевых как в энергетике так и в других отраслях промышленности. При проектировании нового оборудования и совершенствовании уже имеющегося, с целью повышения полезной мощности зачастую возникает необходимость интенсивного отведения или наоборот подвода тепла.

Одним из возможных решений данной проблемы может стать применение наножидкостей, то есть жидкостей с присадками в виде наночастиц, в качестве теплоносителей. Исследования свойств наножидкостей активно ведутся последние 15–20 лет, по данным, полученным в результате опубликованных исследований, можно судить об увеличении коэффициента теплопроводности на 20–40% в сравнении с базовой жидкостью, а также о повышении значения коэффициента теплоотдачи конвекцией на 10–30%. Однако, современная наука не обладает общей теорией, которая бы описывала механизм переноса тепла в данных типах жидкости и объясняла аномальный скачок теплопроводности, а также имела возможность точно предсказывать изменение свойств жидкого теплоносителя, при добавлении в него наночастиц. Соответственно, теоретическое исследование зависимости теплопроводности жидкости от добавления нанопорошка сегодня не представляется возможным, вследствие этого внимание акцентируется на экспериментальных методах исследования. Поэтому разработка методик исследований наножидкости является актуальным направлением научной деятельности, которое в будущем позволит аккумулировать массивы опытных данных, на которых будет возможно построить теорию о наножидкостях и их свойствах.

На сегодняшний день предложено несколько методов измерения теплопроводности наножидкости: метод нагретой проволоки, 3 ω метод, метод плоского слоя и метод импульсного теплового тестирования. Однако использование каждого из указанных методов возможно с некоторыми допущениями, что, очевидно, сказывается на точности полученных результатов. Перспективным является использование модифицированного метода регулярного режима, который широко не применяется к данному типу жидкостей. Его преимущество в том, что он позволяет определить не только теплопроводность, но и температуропроводность и теплоемкость наножидкости.

М.А. Нагоров, студ.; рук. Ю.В. Шацких, к.т.н, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ НАНОЖИДКОСТИ

В наше время с развитием технологий и производства возникает потребность отводить все большее количество тепла. Ресурс воды как теплоносителя достиг своего предела, и ввиду этого встает вопрос о возможных способах интенсификации процессов теплообмена. Одним из перспективных способов интенсификации данного процесса является применение наножидкостей в качестве теплоносителя. Особый интерес наножидкости представляют для контуров, в которых невозможно использовать большие объемы воды, например, дата-центры, суперкомпьютеры, медицинская техника и всевозможные двигатели. По различным источникам коэффициент теплоотдачи можно увеличить в 1,2–4 раза.

Одним из важнейших свойств любой жидкости является ее вязкость. При протекании жидкости в различных каналах именно вязкость влияет на формирование пограничного слоя, а значит она непосредственно влияет на процесс теплообмена. В отличие от вязкости обычных жидкостей, вязкость наножидкостей также зависит от вязкости базовой жидкости, концентрации наночастиц, их размера и материала. Особый интерес представляют три последние зависимости. Нынешние исследования практически не объясняют причину возникновения данных зависимостей, поэтому на сегодняшний день не существует универсальной теории вязкости наножидкостей, а значит невозможно изготовить наножидкость с заданной вязкостью, что является существенной проблемой.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что из-за многих факторов имеющаяся теория вязкости дисперсных жидкостей неприменима для наножидкостей, а это значит, что нужна кардинально новая теория для вязкости нанофлюидов. Имеющиеся эмпирические формулы имеют достаточно узкое применение, а справочные данные и вовсе отсутствуют. Целью работы является углубленное изучение зависимостей вязкости наножидкости от различных параметров, а также построение абсолютно новой и единственной универсальной теории вязкости данного вида жидкостей. Наножидкости имеют огромные перспективы во многих отраслях производства, энергетики и медицины, поэтому необходимо проводить дальнейшие углубленные исследования вязкости наносuspензий.

*Г.Р. Бадретдинова, асп.; А.А. Каюмова, Э.Р. Ханафеева, студенты;
рук. В.А. Рукавишников, д.пед.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА С РЕБРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Задача передачи тепла от парогазовых выбросов является актуальной на многих промышленных предприятиях. Как правило, под такими выбросами понимается безвредная смесь газов, имеющая температуру выше 200°С, которая выбрасывается в окружающую среду. Для отбора тепла от пара целесообразно использовать теплообменный аппарат. Зачастую, состав паровой смеси не известен, поэтому предсказать какая доля будет конденсироваться и определить коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи становится практически невозможно теоретическим путем.

Вследствие этого, в работе представлено экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность на промышленном предприятии «ПАЛП Инвест».

Для передачи тепловой энергии от парогазовой смеси на предприятии «ПАЛП Инвест» авторами работы была подобрана конструкция рекуперативного теплообменного аппарата с ребристой поверхностью. Толщина U-образной трубы составляет 2 мм, при этом толщина ребер составляем 1 мм. С каждой стороны методом навивки нанесено 140 ребер. Высота каждого ребра равна 9 мм. Шаг между ребрами примерно составляет 3,5 мм [1–3].

В ходе проведения промышленного эксперимента было установлено, что время выхода на стационарный режим составляет 265 с. Значение теплового потока и коэффициента теплопередачи в среднем при объемном расходе холодного теплоносителя от 60 до 120 л/час на стационарном режиме составило 4,3 кВт и 26 Вт/(м²·К) соответственно.

Литература

1. **Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р.** Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 2 (26). С. 60–74.
2. **Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г.Х.** Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. — 2018. — Т. 21. — № 2. — С. 99–103.
3. **Дмитриев А.В., Лорай С.Ф., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С.** Анализ прогрева форм из различных материалов // Вестник технологического университета. — 2016. — Т. 19. — № 20. — С. 52–53.

Д.А. Макуева, Я.О. Шайхутдинов, студ.;
рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)

ВАКУУМНАЯ ГЕЛИОСИСТЕМА С ТЕХНОЛОГИЕЙ «HEAT PIPE» ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Солнечная тепловая энергия известна, как действующая технология, предназначенная для приготовления горячей воды и отопления помещений жилых зданий.

Солнечные водонагреватели делятся на две большие категории: пассивные и активные.

В активных системах солнечных водонагревателей центральное место занимают клапаны, электронасосы, а также контроллеры, предназначенные для циркуляции готовой воды через водонагреватель. Правильная установка солнечных водонагревателей зависит от многих факторов: солнечные ресурсы, климат, местные строительные нормы и правила и т.п. [1].

В системах с принудительной циркуляцией в контур включается циркуляционный насос, что дает возможность устанавливать теплонакопительный бак в любой части здания. Для включения и выключения насоса необходима установка контроллера [2].

В данном случае в водонагревательной гелиосистеме применяется вакуумные трубки с технологией «Heat Pipe». Пространство между боросиликатными стеклянными стенками заполнено техническим вакуумом, что создает преграду для теплопотерь. Это позволяет эффективно использовать систему в зимний период года, когда температура наружного воздуха достигает -40°C [3].

Вывод: организация энергоэффективной системы теплоснабжения дома с использованием энергии Солнца создает эффект значительной экономии невозобновляемых энергоресурсов и расходов денежных средств потребителя.

Литература

1. **Анастасьева, Д.А.** Перспектива использования солнечной энергетики для получения тепловой энергии // Научному прогрессу — творчество молодых. — 2017. — № 2. — С. 96–98.
2. Солнечные водонагреватели. [Электронный ресурс]. http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=8635. (дата обращения: 05.11.21).
3. Пособие по проектированию и расчету гелиосистем. [Электронный ресурс]. https://www.studmed.ru/posobie-dlya-proektirovaniya-solnechnyy-kollektor_bf9151921d5.html (дата обращения: 06.11.21).

*И.Д. Калякин, асп.; А.И. Бартенев, асп.;
рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

На примере топливно-энергетического баланса города Москвы рассматривается задача повышения эффективности системы теплоснабжения путём снижения теплотребления одним из её элементов. Бытовой сектор является крупнейшим потребителем конечной энергии, 7,1 млн. т.т.т. из которой приходится на теплотребление [1].

Резервы энергосбережения заключены, в том числе, и в повышении уровня теплоснабжения зданий. В работе [2] представлено расчётное обоснование необходимости повышения уровня теплоснабжения от принятых на данный момент базовых значений 3,13 м²·°С/Вт по СП 50.13330.2012.

В данной работе на основе математического моделирования теплотребления зданий [3] в программе Passive House Planning Package представляется методика снижения их теплотребления путём нахождения оптимального значения сопротивления теплопередаче теплоизоляционного слоя. Получена зависимость суммарных затрат на повышение теплоснабжения $K_{\text{теплоизоляция}}$ и теплотеря $K_{\text{теплотери}}$ от сопротивления теплопередаче теплоизоляции стен R для обследуемого дома [3] за 50 лет:

$$K_{\text{теплотери}} + K_{\text{теплоизоляция}} = 25,839 \cdot R^2 - 263,18 \cdot R + 1468,1 \quad (1).$$

Помимо ГСОП, моделирование позволяет учитывать теплоступления от солнца, внутренние источники и эффект от затенения.

Литература

1. Трушин Е.С., Султангузин И.А., Яворовский Ю.В., Яшин А.П., Бартенев А.И. Моделирование топливно-энергетического баланса источников теплоснабжения г. Москвы // Энергетика. Технологии будущего: III Науч.-техн. конф. студентов (20–22 мая 2020 г., Москва): Сб. тр. Конф. М.: Издательство МЭИ, 2020. С. 274–273.
2. Ковалев И.Н., Табунщиков Ю.А. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен зданий. Системные аспекты // Энергосбережение. 2017. № 8. М: ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС». С. 22–32.
3. Султангузин И.А., Шютц У., Калякин И.Д., Говорин А.В., Яворовский Ю.В., Жигулина Е.В., Хромченков В.Г., Малахова А., Ланцке Б., Дамен А. Расчет, строительство и обследование фасада энергоэффективного дома // Строительство и реконструкция. 2017. № 4. Орёл: Издательство Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева. С. 110–118.

*И.А. Кокулин, студ.; М.Д. Фомичев, асп.;
рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Согласно [1] предпочтительным развитием системы теплоснабжения от источников комбинированной выработки энергии является сохранение и загрузка существующих ТЭЦ.

Но на практике, в результате влияния множества факторов, прослеживается тенденция отказа от крупных систем теплоснабжения, построенных на базе единственного источника тепловой энергии.

Факторами, оказывающие влияние в пользу варианта отказа от источника централизованного теплоснабжения, представляющий собой ТЭЦ, являются:

- неэффективный комплекс устаревшего оборудования, требующий крупных вложений для его обновления и модернизации;
- высокая протяженность магистральных тепловых сетей, характеризующаяся высокими показателями тепловых потерь и низкой надежности теплоснабжения из-за отсутствия дублирующих тепломагистралей;
- большие капитальные вложения в ремонт тепловых сетей.

В данной работе авторами разработан проект децентрализации системы теплоснабжения Севастопольской ТЭЦ, реализация которого запланирована на 2023 г. Данный проект подразумевает техническое перевооружение одиннадцати центральных тепловых пунктов в блочно-модульные котельные с сохранением существующих квартальных тепловых сетей.

Сравнение рассчитанных показателей энергетической эффективности проектов по сохранению текущего состояния и децентрализации ТЭЦ

| Показатели | Прогнозируемая величина показателя в 2024 г. | | |
|---|--|---------------------|----------------------|
| | Сохранение текущего состояния | Децентрализация ТЭЦ | Изменение показателя |
| Отпуск в сеть, Гкал/год | 156 509 | 120 032 | -36 477,00 |
| Потери тепловой энергии при передаче, Гкал/год | 61 462 | 24 986 | -36 476,00 |
| Полезный отпуск, Гкал/год | 95 046,50 | 95 046,50 | 0,00 |
| УРУТ на отпуск тепла, кг у.т./Гкал | 188,7 | 160,0 | -28,70 |
| Расход эл. эн. на передачу ТЭ и теплоносителя, тыс. кВт-ч | 3 056,1 | 2 433,5 | -622,60 |

Основными результатами реализации предложенного проекта будут являться повышение эффективности теплоснабжения, снижение затрат на производство тепловой энергии, повышение качества и надежности теплоснабжения.

Литература

1. Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».

С.С. Теплякова, асп.;

рук. В.А. Горбунов, д.т.н., доц. (ИГЭУ им. В.И. Ленина, Иваново)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В энергетической сфере активно используются теплоизоляционные, пористые композитные, керамические, шихтовые материалы. Для улучшения структуры и придания материалам заданных свойств, необходимых для конкретных условий производства, выполняется термическая обработка. Актуальной задачей является оценка влияния геометрических параметров фракталоподобной структуры и радиационного теплообмена на теплофизические свойства пористых тел [1].

Для численного описания пористых тел значимой является методика замены геометрии на тела с фракталоподобной структурой, имеющие свойства самоподобия. В качестве примера был выбран массив заготовок, расположенных хаотично, представляющий собой структуры, называемые насыпными садками. Реальное пористое тело заменено фрактальной структурой куба 2 ранга разбиения. Моделирование выполнено в программном комплексе COMSOL Multiphysics на основе трехмерной модели ковра Серпинского. Поскольку распределение теплоты может быть неравномерным по структуре объекта, рассмотрено три варианта сечения фракталоподобной кубической структуры.

Разработана методика определения эффективных коэффициентов теплопроводности на основе использования фракталоподобных структур. В зависимости от сечений получены одномерные расчетные модели, обладающие достаточной точностью для инженерного анализа. Определены эффективные коэффициенты теплопроводности. В отличие от существующих подходов, она позволяет решить задачу определения теплофизических свойств без физических экспериментов.

Анализ показал, что геометрические параметры структуры и радиационный теплообмен значительно влияют на эффективный коэффициент теплопроводности при высоких температурах. Исползованная в работе методика может применяться для математического моделирования процессов теплообмена теплоэнергетических объектов при расчете температурных полей и определения режимов нагрева.

Литература

1. **Горбунов В.А., Андрианов С.Г., Коновальцева С.С.** Оценка влияния радиационного теплообмена на параметры температурных полей твэлов различного конструктивного исполнения // Вестник ИГЭУ. — 2021. — № 2. — С. 23–31. DOI: 10.17588/2072-2672.2021.2.023-031

*А.И. Хусаинов, студ.; рук. М.М. Замалеев, к.т.н., доцент
(ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск)*

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Для решения проблемы снижения электрической мощности ГТУ, при повышенных температурах наружного воздуха, на линии циклового воздуха перед компрессором ГТУ предлагается установить поверхностный теплообменник, охлаждающей средой в котором является вода после АБХМ с температурой $+5 - +10^{\circ}\text{C}$. Охлажденная в АБХМ до $+5 - +10^{\circ}\text{C}$ вода позволит остудить цикловой воздух на входе в ГТУ до $+15 - +20^{\circ}\text{C}$. Предложенное решение актуально для южных регионов нашей страны и позволяет увеличить электрическую мощность ГТУ до 30%. Основным преимуществом применения АБХМ для снижения температуры циклового воздуха ГТУ заключается в возможности использования как непосредственно выхлопные газы ГТУ, так и горячую воду/пар из котлов-утилизаторов ПГУ.

Таким образом, холод производится, в основном, за счет потребления бросовых источников теплоты. Благодаря возможности АБХМ охлаждать жидкость до 0°C , можно получать охлажденный воздух более низкой температуры, что позволяет получать эффект большее число часов в году.

При эксплуатации газотурбинных установок (ГТУ) в штатных условиях содержание воздуха в составе газозвдушной смеси достигает 98%. В теплый период года теплофизические свойства воздуха меняются, повышение температуры и снижение плотности воздуха приводит к снижению электрической мощности газотурбинных установок (ГТУ), увеличению удельного расхода топлива. Так, при снижении температуры подаваемого в ГТУ воздуха с 40°C до 15°C повышение электрической мощности ГТУ достигает 30%.

Таким образом, организация охлаждения циклового воздуха перед газовой турбиной позволяет снизить негативные факторы, связанные со снижением электрической мощности газотурбинных и парогазовых установок (ПГУ).

Литература

1. **Бараненко А.В.** Холодильные машины / Бараненко А.В., Бухарин Н.Н., Пекарев В.И., Тимофеевский Л.С.; Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского // — СПб.: Политехника, 2006г. — 133 с.
2. **Романюк В.Н.** Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности / В.Н. Романюк, Д.Б. Муслина, А.А. Бобич и др. // Энергия и Менеджмент. — 2013. — № 1 (70). — С. 14–19.

*Д.В. Сергеева, Т.Р. Абдуллин, студенты;
рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

ДОСТОИНСТВА ИНФРАКРАСНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Применение инфракрасной системы обусловлено необходимостью модернизации традиционного отопления. ИК-обогреватели — это инновация, составляющая конкуренцию любым видам обогрева с использованием электричества. В работе проведен сравнительный анализ использования обогрева помещений при помощи ИК излучения.

Инфракрасные панели (ИК-панели) энергоэффективны, обладают рекордным КПД, требуют оптимальных расходов на оборудование и установку, экологичны и имеют преимущества в скорости работы по сравнению с традиционным отоплением [1]. Средняя удельная мощность нагревателей — 150–220 Вт/м². Они способны снизить потребление энергии до 50%. ИК потолочные обогреватели представляют собой двухслойное полотно. В первом слое между двумя полотнами лавсановой пленки заламинирован резистивный греющий слой из металлической фольги, а второй слой — это алюминиевая фольга, имеющая также дополнительный слой лавсановой пленки. При протекании тока через резистивную греющую фольгу повышается температура до +45°C. Выделенная проводником теплота нагревает алюминиевую фольгу, которая затем излучает ИК лучи с длиной волны 9 мкм. Учитывая, что наиболее комфортным и экологическим являются излучения, не превышающие +50°C [2], инфракрасные панели абсолютно безопасны для нашего организма. Они изготавливаются из безопасных материалов. Кроме того, электрический ИК обогреватель не использует подвижные компоненты, такие как вентиляторы или турбины, то есть он полностью бесшумный.

Преимущества инфракрасного отопления по сравнению с обычным обогревом выражаются высокоэффективностью, экологичностью, отсутствием шума и использования воды в системе.

Литература

1. **Сергеева Д.В., Кондратьев А.Е.** Инфракрасная система // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ. Сумгаит. 2020. С. 284–287.
2. **Карницкий В.Ю., Ушников В.С.** Инфракрасное отопление как экономичный и эффективный вид отопления // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 12–3.
3. **Сергеева Д.В., Макуева Д.А.** Преимущества инфракрасной системы обогрева над традиционными способами отопления // Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2020. № 1. С. 118–120.

Деев Равад, аспирант; рук. Д.В. Сиденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ШАГА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА И ТЕПЛОБМЕН ШАХМАТНОГО ПУЧКА ТРУБ КАПЛЕВИДНОЙ ФОРМЫ

Каплевидная труба (рис. 1) — одна из самых многообещающих альтернатив для создания более совершенного сердечника теплообменника. Это связано с низким аэродинамическим сопротивлением каплевидных труб [1–3]. Настоящая работа была проведена с целью исследования характеристики потока и теплообмен пучка труб каплевидной формы с помощью программного пакета ANSYS Fluent. Исследование охватывает влияние основных проектных параметров чисел Рейнольдса ($1,78 \sim 18,72$) $\times 10^3$, относительного продольного шага ($S_{\text{про}}/D_{\text{эк}} = 1,44 \sim 2,04$) и относительного поперечного шага ($S_{\text{поп}}/D_{\text{эк}} = 1,24 \sim 1,82$).

Максимальные значения эффективности пучка были достигнуты для $Re = 1,78 \times 10^3$ где $S_{\text{поп}}/D_{\text{эк}} = S_{\text{про}}/D_{\text{эк}} = 1,64$ (рис. 2). Предложены зависимости, позволяющие определить средние числа Нуссельта, коэффициента аэродинамического сопротивления и эффективности пучков труб в зависимости от числа Рейнольдса и относительного поперечного и продольного шага.

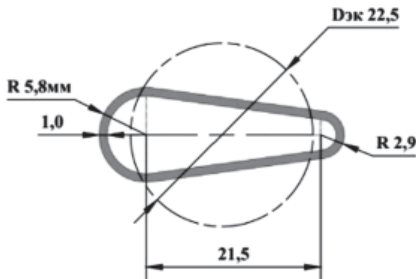


Рис. 1. Поперечное сечение каплевидной трубы

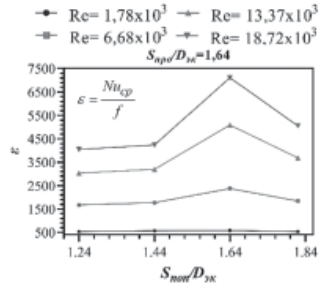


Рис. 2. Зависимость $\epsilon = f(S_{\text{про}}/D_{\text{эк}})$

Литература

1. Деев Р. Обобщение и анализ результатов последних исследований в области улучшения характеристик теплообмена и гидродинамики при поперечном обтекании гладких труб // Вестник Тепловые процессы в технике 2021. Т. 60. № 3.
2. Deeb R. The effect of angle of attack on heat transfer characteristics of drop-shaped tube // Int. J. Heat Mass Transfer. 2022. 183 122115.
3. Deeb R., Sidenkov D.V. The effects of the axis ratio on the flow and heat transfer characteristics around a drop-shaped tube // IOP Conf. Series: Journal of Physics. 2021. 2057: 012001.

Направление X
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
Power engineering machinery

Руководитель направления:

И.о. директора института
энергомашиностроения
и механики НИУ «МЭИ», д.т.н., доцент
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

*Д.С. Писарев, асп.; В.Ю. Наумов, асп.;
рук. А.Н. Рогалев, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УГЛЕКИСЛОТНЫХ ТУРБОМАШИН

Существующие паротурбинные установки имеют высокую стоимость, что обусловлено большой металлоемкостью конструкций. Снизить массогабаритные характеристики турбомашин возможно за счет перехода на углекислотное рабочее тело, характеризующееся высокой плотностью при сверхкритических параметрах [1].

В настоящей работе представлены результаты разработки углекислотных турбомашин для рекомпрессионного цикла Брайтона [2]. Для энергоустановки мощностью 300 МВт при начальной температуре 540°C были разработаны конструктивно-компоновочные схемы турбомашин (рис. 1). Установлено, что использование двухвальной компоновки позволяет повысить частоту вращения и уменьшить диаметры компрессоров без использования редуктора. Длина роторов турбомашин составила 3,95 м в одновальном и 4,9 метров в двухвальном исполнении, что примерно в 4,5 и 3,5 раза меньше общей длина роторов паровой турбины К-300-240.

Результаты исследования получены в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.

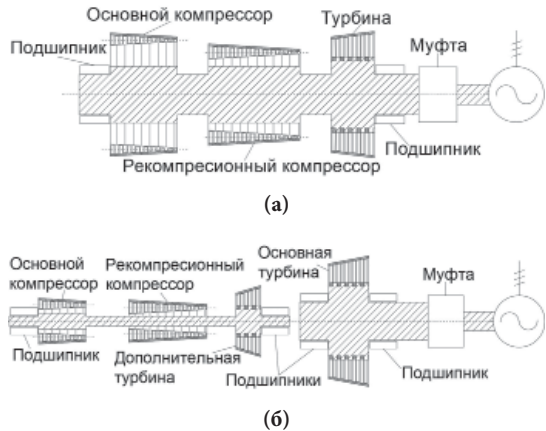


Рис. 1. Компоновки турбомашин для углекислотного цикла Брайтона с рекомпрессией: (а) — одновальная, (б) — двухвальная

Литература

1. Гохштейн Д.П., Верхивкер Г.П., Дехтярев В.Л. Проблема применения углекислоты в качестве рабочего тела мощных энергетических блоков // Теплофизика высоких температур. — 1968. — № 6. — С. 621–633.
2. Рогалев А.Н., Киндра, В.О., Зонов, А.С., Постникова, М.С., Наумов, В.Ю. Термодинамические циклы на сверхкритическом диоксиде углерода для ТЭС и АЭС // Новое в российской электроэнергетике. — 2021. — № 1. — С. 6–19.

А.Д. Рожков, асп.; рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕПУСКА ВОЗДУХА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ГТУ

Одним из возможных способов изменения (повышения) температуры воздуха, поступающего на вход в компрессор, является переброс уже сжатого воздуха с помощью специального клапана и патрубка с его выхода на вход. Несмотря на заметное усложнение конструкции и возможные потери, возникающие при отборе воздуха, данный способ позволяет, кроме повышения температуры приточного воздуха в холодное время года, снизить значение минимально достижимой электрической мощности ГТУ. Поддержание высокой температуры в камере сгорания и за турбиной, позволяет работать ГТУ при допустимых концентрациях оксидов азота, двуокиси углерода в выхлопных газах ГТУ [1].

Применение данной технология нашла на современных ГТУ фирм Siemens и General Electric. Несмотря на внедрение системы перепуска воздуха на некоторых ГТУ, технология является не до конца изученной, и существуют неопределенности при анализе её работы.

Одной из неопределенностей является алгоритм регулирования, заложенный в основу работу клапанов перепуска воздуха. По анализу ГТУ фирмы General Electric положение открытия клапана перепуска воздуха может отличаться в зависимости от температуры наружного воздуха и температура газов за турбиной, при одной и тоже электрической нагрузке ГТУ.

Принципиальным вопросом с точки зрения конструкции и проектирования проточной компрессора является выбор ступени из-за которой производится отбор сжатого воздуха. Проведенные поступенчатые расчёты проточной части модельной компрессора показали, что наиболее эффективным местом для отбора воздуха является — диффузор за последней ступенью компрессора. При приближении отбора воздуха к началу компрессора наблюдается значительное западение изоэнтропического КПД и степени повышения давления, как компрессора, так и его ступеней по отдельности. Кроме того, установка камеры отбора в промежуточной ступени приводит к ухудшению аэродинамики и увеличению потерь в проточной части ГТУ.

Литература

1. **Ольховский Г.Г.** Тепловые испытания мощных энергетических ГТУ. М.: Фолиум, 2015.

Ю. Ван, студ.; рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СТУПЕНЬ С ПОВЫШЕННОЙ СЕПАРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ АЭС

Ступень с повышенной сепарационной способностью (ступень-сепаратор) была разработана авторским коллективом МЭИ совместно с Калужским турбинным заводом для сепарации влаги из проточной части турбины [1]. Данная ступень была встроена в проточную часть геотермальной турбины К-25-0,6 ГЭО Мутновской станции. Хотя авторы предназначали ступень-сепаратор для всех влажнопаровых турбин, данная ступень никогда не использовалась в проточной части турбин АЭС.

Предлагаемая модификация ступени-сепаратора предназначена для использования в проточной части ЦНД тихоходной турбины К-1200-6,8/25 (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 теплоперепад 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 [2], показал, что экономичность такой ступени составляет $\eta_{oi} = 82\%$. Из-за неоптимального шага рабочей решетки возникают дополнительные потери в корневых сечениях. Также углы выхода из рабочей решетки α_2 из-за малого располагаемого теплоперепада значительно больше 90° , что приводит к частичным потерям с выходной скоростью.

Оценка сепарационной способности проводилась с учетом экспериментальных исследований [1]. Расчеты свидетельствуют о том, что коэффициент сепарации данной ступени ψ около 40%. Это позволяет уменьшить влажность перед последней ступенью, увеличить ее эффективность и надежность.

Литература

1. Дейч М.Е. Исследование специальных турбинных ступеней-сепараторов / М.Е. Дейч, В.И. Кирюхин, Г.А. Филиппов и др. // Теплоэнергетика. 1974, № 8, с. 20–23.
2. Богомолова Т.В. Расчет и проектирование последних ступеней паровых турбин / Т.В. Богомолова // Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ. 2021. С 82.

Д.К. Летов, асп.; рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Профилирование лопаток турбинной ступени цилиндра суперсверхкритического давления, а именно процесс, под которым подразумевается построение очертаний поперечных сечений лопаток, требует большого числа итераций, проведения экспериментов и доводочных действий. Качество профилирования напрямую зависит от экспериментальных исследований, в отличие от аэродинамических характеристик построенного профиля, которые могут быть определены по уже известным методикам.

За основу построения каркаса профиля в работе была взята специальная методика, разработанная специалистами из авиадвигателестроительной отрасли.

Сама линия профиля представляет собой огибающую внутри построенного каркаса связанных отрезков. От качества построения этой огибающей зависит качество построения профиля.

Особенность данной методики состоит в том, что огибающая представляет собой кривую Безье, построенную на основании геометрически полученных опорных точек каркаса профиля, причем касание огибающей каркаса профиля — это результат минимизации целевой функции кривой Безье. Это необходимо для получения нужной формы кривой на спинке профиля.

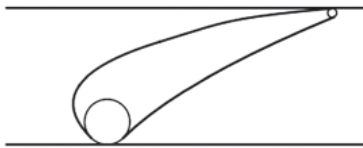


Рис. 1. Компьютерная модель построения профиля лопатки при помощи опорных точек и кривой Безье

Оптимизация формы профиля лопатки является неотъемлемой частью модернизации лопаточного аппарата с целью повышения технико-экономических показателей энергоустановки.

Литература

1. **Комаров О.В.** Тепловые и газодинамические расчеты газотурбинных установок: учебно-методическое пособие / О.В. Комаров, В.Л. Блинов, А.С. Шемякинский // Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 164 с.

П.М. Борщ, студ.; рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ НА ПОТЕРИ В СОПЛОВОЙ РЕШЁТКЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПО ВЫСОТЕ ПРОФИЛЯ УГЛА ВЫХОДА ПОТОКА

В данной работе рассмотрен метод снижения потерь в ступени за счет применения сопловых решёток, составленных из профилей с переменным углом выхода потока α_1 . Проведены расчёты потерь в решётках с переменным углом α_1 , сравнение решётки с переменным углом α_1 с решёткой из [2], профилирование лопаток с переменным углом α_1 . Рассматриваются две сопловые решётки. Первая — С9012А с постоянным углом выхода потока по высоте. Вторая — решётка с переменным по высоте углом выхода потока, профили в базовых сечениях С9009А, С9022А и С9009А. Условия сравнения двух решёток: одинаковые кромки лопаток, одинаковые углы входа ($\alpha_0=90^\circ$) в сопловые решётки, постоянные значения числа Маха $M_{1т}$ и одинаковое отношение хорды профиля к высоте лопатки $b/l=1,16$ для решёток С9009А, С9012А, С9022А, одинаковый расход G .

Для сравниваемых решёток проводились расчёты потерь энергии [1] для заданного расхода G . Вторая решётка составлена из лопаток с сечениями в корне и на периферии С9009А, а в ядре потока С9022А. Полученное значение коэффициента профильных потерь энергии в ядре потока для решетки С9022А $\zeta_{1я}=0,023$ совпадает с рассчитанным в Ansys и данными [2]. Далее строится сопловая решётка из профилей с переменным углом выхода потока и также рассчитывается в программе Ansys.

Коэффициент потерь энергии с переменным углом выхода потока определялся по формуле:

$$\zeta_{\text{ЭКВ}} = (\zeta_{1я} \cdot G_{1я} + 2 \cdot \zeta_{1п} \cdot G_{1п}) / (G_{1я} + 2 \cdot G_{1п}).$$

Получено значительное уменьшение потерь энергии, по сравнению с решёткой С9012А, спрофилированной с постоянным углом выхода по высоте. Результаты совпадают с вариантом расчета, в котором задавался переменный расход по высоте решетки: 80% от заданного расхода в средней зоне по высоте, на периферии 20%.

Полученные данные подтверждают возможность значительного снижения потерь мощности в ступени в результате применения профилей с переменным углом выхода потока. Положительный эффект достигается за счет перераспределения расхода по высоте решетки.

Литература

1. Щегляев А.В. Паровые турбины (Теория теплового процесса и конструкции турбин) доп. и под. Б.М. Трояновским, М.: Энергоатомиздат 1993. — 384 с.
2. Лазарев Л.Я., Степанова Т.Н., Ряховская Н.В., Фадеев В.А. Геометрические и энергетические характеристики профилей турбинных лопаток постоянного сечения. М.: 2004. — 52 с.

В.С. Лихолетова, асп.; рук. Д.А. Хохлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЧНОГО ПРОЦЕССА КОТЛА HG-2100/25.4-УМ16 ТРОИЦКОЙ ГРЭС

Современные исследования топочного процесса как на проектируемых, так и на существующих котлах проводится при помощи его трёхмерного моделирования с использованием CFD-методов. Критерием достоверности получаемых при помощи моделирования результатов являются опытные данные. Ключевой проблемой является невозможность получения достаточного массива данных при выполнении опыта по причине как высокой сложности, так и большого масштаба изучаемых процессов. Высокие температуры делают практически невозможным использование каких-либо способов кроме пирометрии, которые слабо применимы для топочного процесса, особенно при изучении сжигания газового факела ввиду его низкой светимости.

Современные паросиловые блоки на органическом топливе должны отвечать высоким требованиям манёвренности. Однако изучение топочного процесса при изменении нагрузки изучено слабо. Одним из вопросов является зависимость от нагрузки параметра M , учитывающего характер распределения температуры по высоте топки, и коэффициента тепловой эффективности ψ .

Во время проведения испытаний на котле HG-2100/25.4-УМ16 оказалось, что на выходе из топки установлена термопара, которая используется при пусках. Она может измерять температуру до 585°C . После этого термопара извлекается из топки. Таким образом, уже накоплено большое количество опытных данных, при помощи которых можно провести верификацию данных трёхмерного моделирования.

В данной работе предлагается использование трёх моделей: экспериментальные данные по реальному котлу (тренды от станции), компьютерная модель котла в Boiler Designer, и модель топочного процесса в ANSYS.

Из трендов были получены исходные данные для определения тепловосприятости топки для моделей в Boiler Designer и ANSYS. В качестве таковых были приняты расходы воздуха, расходы топлива (взяты по O_2 из трендов), расходы питательной воды, параметры сред в топке и т.д. Была разработана модель для одного статического режима в Boiler Designer.

Следующей задачей является разработка модели топочного процесса в ANSYS. После этого потребуется привести показатели модели в ANSYS к данным с реального котла по температуре на выходе из топки для статического режима.

*М.А. Шистеров, А.В. Царев, Очирваань Ууганбаяр студенты;
рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛА Е-220-9,8-540БТ

Несмотря на новую концепцию развития энергетики, на реализацию которой потребуются не одно десятилетие, исследование работы паровых котлов еще долгое время будет востребовано. События, произошедшие недавно в США и в Европе, убедительно показали, что нельзя обеспечить энергетическую безопасность страны только за счет возобновляемых источников энергии. Поэтому тема работы актуальна.

Котел Е-220-9,8-540БТ был спроектирован ЗиО для сжигания березового угля марки Б2. Запасы этого топлива очень велики, а добыча не дорогая. Котел однобаранный, вертикально-водотрубный, имеет П-образную компоновку и работает с уравновешенной тягой. Он обслуживается четырьмя пылесистемами (ПС) с мельницами МВ 1600/400/980. 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. Рассматривался диапазон работы оборудования при снижении нагрузки от 100 до 50% с шагом 10%. По мере снижения нагрузки количество работающих пылесистем уменьшалось. На некоторых нагрузках исследовалась работа котла с разным числом ПС.

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 размольной производительности. Газы на сушку отбираются из верхней части топки и за дымососами, 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. Поэтому по мере снижения нагрузки необходимо отключать отдельные пылесистемы.

Установлено, что на нагрузках свыше 70% могут работать четыре М-В. При 70% лучше остановить одну пылесистему, тогда КПД котла повышается с 92,07 до 92,84%. Отключение еще одной ПС должно происходить на нагрузке 60%, при этом КПД возрастает от 92,02 до 92,27%. Разгрузка до 50% должна осуществляться при работе двух пылесистем.

Практическая ценность исследования состоит в поиске оптимальных режимов работы оборудования, а личный вклад авторов — в создании файлов исходных данных, проведении расчетов и анализе результатов.

Д.Р. Хорошавцев, асп.; Р.Е. Ушаков, студ.;
рук. А.Н. Арбеков, д.т.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОДИНАМИКИ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИНАХ

Одним из наиболее перспективных направлений в области совершенствования основных показателей эффективности проточной части центробежных компрессоров (ЦБК) является применение новых расчётных подходов к профилированию узлов. Данная работа направлена на проектирование экспериментальной установки, которое предусматривает возможность оперативной замены элементов проточной части с наименьшими капиталовложениями.

На входе в установку установлен лемнискатный насадок. Далее расположены успокоительный участок со спрямляющими решетками и сетками, расходомерное сопло, которое спрофилировано по формуле Витошинского. За входным участком располагается ступень ЦБК, которая при помощи покрывного диска и выходной системы крепится к корпусу ступени.

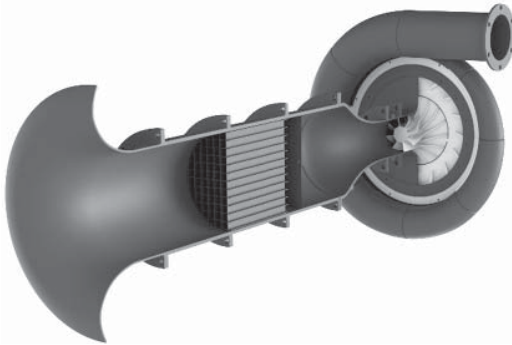


Рис. 1. Модель проточной части экспериментальной установки

Установка (рис. 1) позволяет осуществить замены рабочих колёс, диффузоров, входных и выходных участков по отдельности. Конструкция узлов подразумевает при изготовлении применение аддитивных технологий. Таким образом, появляется возможность исследования вклада в параметры эффективности ЦБК каждого узла с минимальными временными и финансовыми затратами.

И.А. Никитин, студ.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц.;
Б.Н. Петрунин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПЛОТНЕНИЙ

Известно, что расход через прямоточные уплотнения заметно больше, чем через ступенчатые с аналогичными геометрическими размерами, и для их расчета по формуле Стодолы в [1] вводится поправочный множитель $k_y = f(\delta_y/s, z) \geq 1$. Здесь δ_y — радиальный зазор, s — шаг уплотнения, а z — число дросселей. Верхний исследованный предел отношения $\delta_y/s = 0,1$, однако в ряде практически важных случаев отношение $\delta_y/s > 0,1$. Поэтому в данной работе спроектирована и изготовлена установка для экспериментального определения расходных характеристик прямоточных и ступенчатых уплотнений с целью уточнения коэффициента k_y для более широкого диапазона изменения отношения δ_y/s . На рис. 1 представлена конструктивная схема экспериментальной установки.

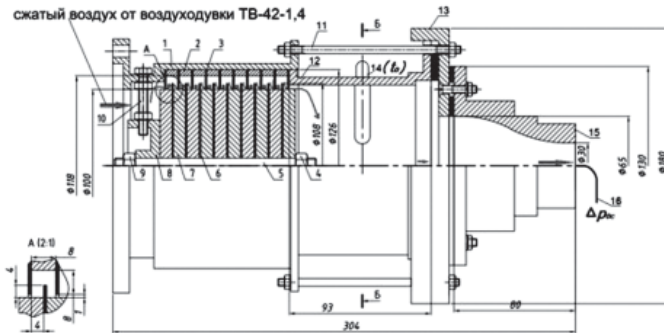


Рис. 1. Конструктивная схема экспериментальной установки

- 1 — внешний корпус; 2 — проставки статора; 3 — кольца (гребни) статора; 4 — гайка;
5 — вал ротора; 6 — кольца (гребни) ротора; 7 — проставки ротора; 8 — внутреннее
кольцо; 9 — гайка; 10 — стяжной центrovочный болт (4 шт.); 11 — шпилька (4 шт.);
12 — корпус выхлопа; 13 — кольцо; 14 — термометр; 15 — выходное сопло;
16 — зонд полного напора

Литература

1. А.Г. Костюк, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций. М. Изд. дом МЭИ, 2018.

И.А. Никитин, студ.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО СОТОЛУНКОВОГО УПЛОТНЕНИЯ В ТУРБОМАШИНАХ

В паровых и газовых турбинах, компрессорах и нагнетателях уплотнительные узлы являются наиболее повреждаемыми частями турбомашин и наименее трудоемкими в процессе ремонта и восстановления при условии достаточно глубокой унификации. Поэтому продолжается поиск оптимальных форм и конструкций уплотнений с учетом режимных параметров и условий эксплуатации.

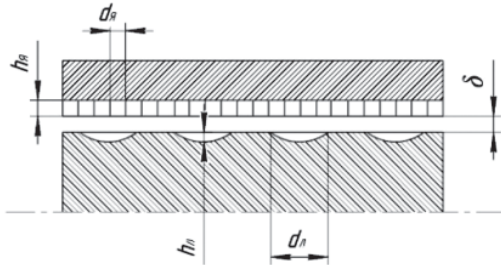


Рис. 1. Эскиз сотолункового уплотнения

Предложенное комбинированное уплотнение представлено на рис. 1. Особенность сотолункового уплотнения предполагает применение в качестве турбулизатора вращающаяся поверхность ротора с лунками, которая за счёт «смерчевидных» выбросов газа из лунок интенсифицирует взаимодействие с вихрями

в пространстве сотовых ячеек. В то же время сопротивление трением о лунковую поверхность повышается в меньшей степени [1].

В работе проведены экспериментальные исследования некоторых типов бесконтактных уплотнений, представлены результаты исследований расходных характеристик при различной величине зазора и степени повышения давления. На основании опытов и изученной литературы для нового уплотнения даются рекомендации основных геометрических размеров сотовых ячеек и лунковых углублений.

Литература

1. Алексеев В.В., Гачечиладзе И.А. Смерчевой энергообмен на трёхмерной вогнутой рельефной структуре самоорганизующихся течений, их визуализация и механизмы обтекания поверхностей // Тр. 2-й Всерос. конф. по теплообмену: Москва, 1998.

С.С. Подрезов, студ.; рук. В.М. Супранов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПАРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АЭС С ВВЭР ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 2067 Т/Ч

Новая концепция развития электроэнергетики в России предполагает увеличение количества действующих АЭС и постепенное уменьшение выработки на тепловых электростанциях. Поэтому тема работы актуальна.

Конструкция парогенератора (ПГ) должна соответствовать следующим требованиям: надежность соединений, предотвращение межкристаллитной коррозии, поддержание кислотно-щелочного баланса в воде 2 контура ПГ, организация непрерывной продувки, снижение теплогидравлической неравномерности для чего необходимо предусмотреть установку погружного дырчатого листа, а также раздачу относительно холодной питательной воды на более горячую сторону.

Одним из факторов, снижающим паропроизводительность, является образование отложений на поверхности теплообменных труб. Поэтому конструктивно необходимо предусмотреть осуществление непрерывной продувки в 0,5–1% от паропроизводительности.

Плюсы горизонтального ПГ:

- освоенность производства, положительный опыт успешной эксплуатации существующих горизонтальных парогенераторов;
- одноступенчатая схема сепарации, не требующая применения сложных сепарационных устройств;
- удобство обслуживания, ремонта, возможность замены устройств, расположенных внутри корпуса;
- отсутствие скопления шлама в местах заделки теплообменных труб.

Но есть и недостатки:

- ограниченность тепловой мощности в связи с ростом диаметром ПГ;
- заметная теплогидравлическая неравномерность.

Практический вклад автора заключается в выполнении теплового и компоновочного расчетов ПГ, подтвердивших возможность получения требуемой влажности пара при использовании одноступенчатой схемы сепарации. Кроме того, автором проведены прочностной и гидравлический расчеты парогенератора. По ходу выполнения работы определена оптимальная скорость теплоносителя в трубах, при которой суммарные затраты (капитальные плюс эксплуатационные) являются минимальными. Выполнены чертежи общих видов ПГ.

Длина парогенератора составляет 14,214 м, наружный диаметр 4,47 м, масса 298 т, поэтому возможна его перевозка по железной дороге. В этом заключается практическая ценность работы.

*А.Ю. Макаров, асп.; Д.М. Андрианов, асп.; А.В. Цой, студ.;
рук-ли В.Г. Грибин, д.т.н., проф.; В.А. Тищенко, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРАДИТЕЛЬНОЙ ЗАВЕСЫ НА ЛОПАТКАХ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Отличительной особенностью газовых турбин (ГТ) являются высокие температуры рабочего тела на входе, которые могут достигать 1600°C и находятся за границами допустимых величин современных жаропрочных сплавов. Как следствие, для обеспечения допустимого уровня нагрева элементов проточной части ГТ, помимо применения специальных сплавов и термобарьерных покрытий, необходима организация развитой системы охлаждения. В настоящее время широко применяется воздушное конвективно — пленочное охлаждение. Применение подобных схем охлаждения приводит к снижению КПД ГТ. Поэтому важной задачей является повышение эффективности компонентов этих систем.

В настоящей работе выполнен комплекс расчетно-экспериментальных исследований по оптимизации конвективно-заградительного охлаждения поверхности лопаток газовых турбин. С этой целью создан экспериментальный стенд, обеспечивающий при пониженных температурах рабочего тела моделирование условий в проточной части ГТ. Система измерений стенда позволяет исследовать структуру потока методами лазерной диагностики, измерять тепловизором поля температур на поверхности пластины обдуваемой струей охлаждаемого воздуха, измерять амплитудно-частотные характеристики потока.

Основной задачей при проработке конструкции стенда являлось обеспечить возможность контролируемого выдува хладагента на исследуемую поверхность. При этом важно минимизировать влияние границ, вызванных геометрическими характеристиками канала, на формируемую завесу. Этого удалось добиться в результате итерационного подхода — последовательного изменения элементов конструкции стенда на основе проведения предварительных испытаний и расчетов с применением CFD кодов. Эффективность подхода была обеспечена за счет применения аддитивных технологий изготовления элементов стенда.

В результате проведения аэродинамических испытаний на экспериментальном стенде, получены данные о структуре струи охлаждающего воздуха, выдуваемого через отверстия различной геометрии в широком диапазоне коэффициентов выдува. Оценено влияние режимных и геометрических параметров отверстий на устойчивость завесы заградительного охлаждения. Анализ полученных результатов позволил дать рекомендации по оптимизации геометрии отверстий для выдува охлаждающего воздуха.

*А.М. Слободяник, студ.;
рук. А.Ф. Медников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ МОЩНЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

В настоящее время в энергетике существует тенденция на увеличение единичной мощности паровых турбин [1] и, следовательно, длин лопаток последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД), работающих во влажном паре. Из-за повышения окружных скоростей на их периферии входные кромки рабочих лопаток испытывают большие нагрузки при столкновении с каплями влаги, что приводит к интенсификации процессов каплеударной эрозии и необходимости использования разнообразных активных и пассивных способов защиты. Решением проблемы может стать разработка и использование защитных эрозионностойких покрытий в комбинации с модификацией приповерхностного слоя лопаточного материала. Перспективным пассивным способом борьбы с каплеударной эрозией является модификация функциональной поверхности лопатки за счет диффузионного насыщения атомами азота — азотирования с последующим формированием износостойкого ионно-плазменного покрытия [2].

В результате проведения параметрических исследований автором выявлены оптимальные значения характеристик (микротвердость, глубина, шероховатость) модифицированного азотированного приповерхностного слоя, обладающего эрозионной стойкостью, превосходящей стеллит. Впервые получены результаты исследований внутренних напряжений [3], образующихся в системе «покрытие-модифицированный слой-подложка». Автором проведены экспериментальные исследования и получены результаты изменения этих напряжений при высокоскоростном каплеударном воздействии на эрозионном стенде. Полученные закономерности позволили выявить оптимальные комбинации покрытий и различных способов упрочнения, которые позволят эффективно повысить износостойкость лопаточного аппарата и продлить срок службы последних ступеней ЦНД.

Литература

1. **Leyzerovich A.S.** Steam turbines for modern fossil-fuel power plants. The Fairmont Press, 2008.
2. **Рыженков А.В., Медников А.Ф., Качалин Г.В., Тхабисимов А.Б.** Влияние параметров упрочнения поверхности на эрозионную стойкость лопаточных сталей // Быстрозакаленные материалы и покрытия: Тр. XVII-й Межд. научно-техн. конф. М.: МАИ, 2020.
3. **Ryzhenkov A.V., Volkov A.V., Mednikov A.F., Tkhabisimov A.B., Zilova O.S., Sidorov S.V.** Results of measurements of substrate deformation and determination by bending of internal stresses in Ti-TiC-DLC coating obtained by using HiPIMS technology // Materials Physics and Mechanics. 2021. Vol. 47. № 2.

Т.М. Слободяник, студ.; рук. А.Ф. Медников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЛОПАТОК ПЕРВЫХ СТУПЕНЕЙ ЦВД И ЦСД ЭНЕРГОБЛОКОВ С УЛЬТРАСВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ НАЧАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРА

Во всем мире взят курс на повышение начальных параметров пара с целью увеличения КПД угольных электростанций более чем на 50%, снижения расхода топлива и выбросов оксидов азота NO_x . В связи с этим запущены программы по разработке перспективных энергоблоков на ультрасверхкритические параметры пара (35 МПа, 700/720°C).

Проблема абразивного износа лопаток первых ступеней ЦВД и ЦСД паровых турбин вследствие воздействия твердых абразивных частиц при высокой температуре эксплуатации становится особенно актуальной при проектировании проточной части турбины, рассчитанной на ультра-сверхкритические параметры пара. Для повышения ресурса и обеспечения надежности элементов проточной части при повышенных эксплуатационных параметрах появляется вопрос выбора материала лопаточного аппарата. Для его решения возможно рассмотрение двух вариантов: применение дорогостоящих сплавов с большим содержанием никеля, которые обладают хорошим сопротивлением высокотемпературному окислению и ползучести или относительно дешевых лопаточных материалов, используемых для турбин на сверхкритические параметры пара, в совокупности с нанесением на них защитных покрытий.

Формирование защитных покрытий является эффективным способом защиты от абразивного износа. Среди способов нанесения покрытий можно выделить диффузионное насыщение, газотермическое напыление, лазерную наплавку, ионно-плазменное напыление. Целью данной работы было исследование динамики износа лопаточных сталей, сплавов и перспективных покрытий при повышенных температурах. Для этого была проведена серия экспериментальных исследований на модифицированном абразивном стенде НИУ «МЭИ» при температурах свыше 700°C. В результате исследований выявлено, что применение защитных покрытий, нанесенных на используемые лопаточные стали, может быть целесообразной альтернативой высоколегированных сплавов с большим содержанием никеля и хрома.

Д.В. Мичкаев, студ.; рук. А.И. Куменко, д.т.н., доц. (НИУ«МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ГРАНИЦ УСТОЙЧИВОСТИ РОТОРОВ МОЩНЫХ ТУРБИН

Вопросы обеспечения надежности валопроводов турбоагрегатов, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации, требуют внимания к запасам их динамической устойчивости, как по расходу рабочего тела, так и по частоте вращения. Низкие запасы устойчивости турбоагрегатов в условиях технологических отклонений при эксплуатации и ремонте приводят к возникновению низкочастотной вибрацией (НЧВ).

НЧВ характеризуется частотами, расположенными ниже рабочей частоты вращения. Она обычно возникает при достижении турбоагрегатом некоторых пороговых параметров по частоте вращения или по мощности (или расходу рабочего тела) [1, 2]. При дальнейшем увеличении частоты вращения или нагрузки амплитуда автоколебаний резко возрастает, что не позволяет вывести турбоагрегат на холостой ход или номинальную нагрузку, что, в свою очередь, приводит к невыработке энергии и к заметным экономическим потерям. Вопросы о границе устойчивости не поднимались в нашей стране с 80-х годов прошлого века. Ещё в то время в МЭИ были разработаны соответствующие методики расчета, однако эти методики необходимо совершенствовать в наши дни.

Целью данной работы является анализ границ устойчивости и разработка алгоритмов, которые учитывают ряд параметров сложной системы «валопровод-подшипники-статор-фундамент-основание», в том числе для турбин на суперсверхкритические параметры пара.

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритмов и проведении аналитических расчётов с использованием альтернативного программного комплекса, и анализе полученных результатов исследования.

Перспективы применения результатов исследования заключаются в том, что полученные данные могут быть полезны для повышения границ устойчивости и их диагностики для мощных турбоагрегатов.

Литература

1. **Костюк А.Г.** Динамика и прочность турбомашин. М. Издательский дом МЭИ. 2007 г.
2. **Костюк А.Г.** Колебания паровых турбоагрегатов // В кн.: Вибрации в технике. Справочник Т.3. / под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. — М.: Машиностроение. — 1980. — С. 300–322.

Е.А. Фоменко, аспирант; рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 225 МВт С КОТЛОМ ТПЕ-223 НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ BOILER DESIGNER

Современные тепловые электростанции представляют собой совокупности сложных технологических систем, состоящие из сотен элементов оборудования и соединяющих их трубопроводов, поэтому их расчет представляет сложный и энергозатратный процесс, который невозможно выполнить без применения компьютера и специального программного обеспечения.

Одной из таких программ является Boiler Designer, разработанная фирмой OPTSIM-K (г. Москва) [1]. При помощи программы возможно выполнение с высокой точностью теплогидравлического и аэродинамического расчетов любых вариаций и сложности.

Для расчетного исследования процессов работы энергоблока 225 МВт с котлом ТПЕ-223 и паровой турбиной К-225-12,8-4Р была разработана компьютерная модель блока с использованием программы Boiler Designer.

Расчетная модель блока для программы Boiler Designer предполагает собой совокупность рабочих структур каждого из его трактов: «Группа Вода», «Воздушный тракт» и «Газоход» [2]. Структура «Группа Вода» представляет собой расчетную схему из цилиндров турбины, системы регенерации воды, пароводяного тракта высокого и низкого давлений. Расчетные группы трактов ВД и НД состоят из следующих элементов: экономайзер, барабан, пароперегреватели и циркуляционный контур. Структура «Газоход» состоит из последовательно расположенных поверхностей нагрева котла, которые разбивались на зоны и моделировались элементами с учетом характера омывания теплоносителями, местоположения и тепловосприятости.

Исследуя полученные результаты, отмечается хорошая сходимость температур, как по пароводяному, так и по газовоздушному трактам. Таким образом, можно полагать, что созданная математическая модель энергоблока 225 МВт адекватна и характеризует работу блока в широком диапазоне нагрузок.

Литература

1. **Доверман Г.И.** Расчет котлов-утилизаторов с использованием программного продукта Boiler Designer // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2008. № 2.
2. **Е.С. Малков, Б.Л. Шелыгин.** Разработка расчетных моделей котла-утилизатора для анализа эффективности сжигания дополнительного топлива // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. № 1.

И.Е. Богомолов, студ.;
 рук. Т.В. Богомолова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Сопловое парораспределение характеризуется не только пониженным КПД регулирующей ступени за счет потерь энергии от парциальности и потери с выходной скоростью, но и снижением надежности за счет динамических нагрузок [1]. Однако предполагается, что на частичных режимах оно имеет большую экономичность. В действительности для снижения динамических нагрузок и повышения надежности при малых расходах пара, начиная от режима, соответствующего точке А (рис. 1), система регулирования перестраивается для параллельного прикрытия клапанов, через которые пар подводится ко всем оставшимся в работе группам сопел. При этом реальное сопловое парораспределение превращается на частичных режимах в комбинированное — в дроссельно-сопловое. Так у отечественных паровых турбин мощностью от 200 до 800 МВт точке А соответствуют частичные режимы 0,76–0,89 номинальной мощности. При этом исчезает основное преимущество соплового парораспределения.

В данной работе для обеспечения высокой маневренности, эксплуатационной надежности и сохранения преимуществ в экономичности в широком диапазоне изменений нагрузок произведена оптимизация системы парораспределения. Для проведения оптимизации составлена программа расчета в пакете DELPHI.

Целевая функция оптимизации — определить последовательность открытия клапанов и количество сопел в сопловых сегментах, т.е. степень парциальности каждого сегмента для сохранения допустимых динамических напряжений и наилучшей экономичности регулирующей ступени при малых нагрузках. В качестве объекта исследования выбрана турбина К-660-26,5 (прототип ЛМЗ).

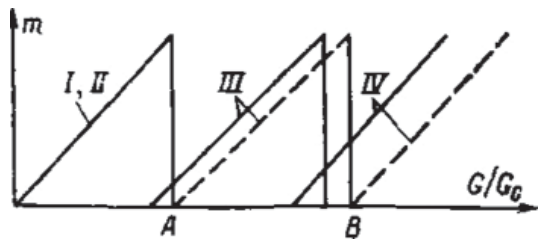


Рис. 1. Схема открытия клапанов при изменении режима работы паровой турбины

Литература

1. Куменко А.И. Влияние статических сил в парциальной ступени на устойчивость и параметры сборки цилиндров высокого давления мощных турбин // М.: Вестник МЭИ. 2001. № 6.

А.В. Лукьянов, асп.; рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ В ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ

Для определения гидравлического режима в трубах котлов и надежности всего агрегата выполняют расчет сопротивления контура. При проектировании и исследовании котлов для этого используются методики и номограммы, представленные в нормативном методе гидравлического расчета котельных агрегатов [1].

Определение гидравлического сопротивления в НГР [3] выполняется по номограммам, основанным на большом количестве специальных исследований труб диаметром от 25 до 148 мм при давлениях пара от 1 до 21 МПа. Для этих целей кроме опубликованных работ привлекались данные исследований, помещенных в научных отчетах [2].

Однако исследований описывающих работу циркуляционного контура как гидравлической системы в целом не достаточно и некоторые вопросы следует уточнить с проведением дополнительных исследований.

Изучение гидродинамики циркуляционных контуров водотрубных паровых котлов с естественной циркуляцией позволяет выработать мероприятия по повышению эксплуатационной надежности и рекомендации при их проектировании. Необходимым условием надежной работы котельного агрегата является круговое непрерывное движение котловой воды, совместно с отсутствием выпадения шлама и накипи которое так же связано с гидродинамикой испарителя. Однако, охлаждение металла труб может быть различным и при отсутствии оных.

В рамках данной работы была получена зависимость скорости циркуляции и расхода в контуре от его тепловосприятя. Был установлен критерий максимального расхода в контуре.

Литература

1. **Мейкляр М.В.** Повреждения водотрубных паровых котлов из-за нарушения циркуляции. М.: ГЭИ, 1952.
2. **Балдина О.М.** О расчете напорных паросодержаний в вертикальных испарительных и пароотводящих трубах паровых котлов // Теплоэнергетика. 2000. № 8. С. 26–29.
3. **Локшин В.А.** Гидравлический расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). М.: Энергия, 1978.

М.Е. Кочетышкин, асп.; рук. В.Г. Грибин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФFUЗОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИН АЭС

Основными диффузорными элементами проточной в части турбомашин АЭС являются отводящие каналы регулирующих клапанов, переходные каналы и отдельные элементы отводящих патрубков. Для мощных турбин АЭС применяются осерадиальные патрубки, в которых поток рабочего тела в ограниченном пространстве поворачивает на 90°. Это обстоятельство приводит к возникновению в потоке сложной вихревой структуры, наличие которой может вызывать значительное снижение эффективной площади выхлопа.[1]

Диффузорные каналы обладают значительным резервом повышения аэродинамической эффективности проточных частей за счет снижения потерь энергии потока рабочего тела в диффузорах.

Основными направлениями снижения потерь в диффузорных элементах отводящих патрубков паротурбинных установок являются изменение геометрии обводов проточной части патрубка, установка дефлекторов, направляющих ребер, раскателей, с целью снижения интенсивности вихревых течений, увеличения зоны безотрывного обтекания обводов диффузора и уменьшения неравномерности потока.

Для снижения неравномерности потока за последней ступенью цилиндра, является перспективным исполнение патрубка с симметричным отводом пара в верхнюю и нижнюю половины цилиндра. Однако такой способ не применим к действующим энергоблокам, так как влечет за собой изменения в трассировке трубопроводов, конструкции фундамента турбоагрегата, а также возможно и изменения в компоновке вспомогательного оборудования ПТУ. Тем не менее для вновь проектируемых энергоблоков такой способ повышения эффективности вполне применим, так как он позволяет обеспечить наиболее равномерное поле скоростей за последней ступенью, что в свою очередь приводит к снижению динамических нагрузок на рабочие лопатки, и повышению КПД ступени.

По экспертной оценке, оптимизация выхлопных патрубков ЦВД турбоустановки К-1200-6,8/50 может обеспечить до 7,5 МВт прироста электрической мощности.

Литература

1. **Зарянкин А.Е., Симонов Б.П.** Выхлопные патрубки паровых и газовых турбин. М.: Издательский дом МЭИ, 2002.

А.В. Барбашин, асп.; рук. С.С. Дмитриев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНОГО ПАТРУБКА ПГУ С ПОВОРОТОМ НА 90°

В ПГУ в месте поворота газов после ГТУ в короб вертикального котла-утилизатора (КУ) угол поворота потока составляет 90°, что должно неизбежно вызывать отрыв потока на внутренней стенке короба. Кроме этого, в выходном сечении переходного патрубка формируется существенно неравномерное поле скоростей, что отрицательно сказывается на процессе теплообмена в первых трубных пучках КУ. Из-за нестационарности потока возникают дополнительно динамические усилия на стенки переходного патрубка и КУ, способные вызывать трещинообразование и серьезные поломки элементов корпуса котла.

Для отработки переходного патрубка с поворотом потока на 90° была изготовлена модель переходного патрубка КУ ПК-79, показанная на рис. 1. Степень расширения канала составляет $n = F_{\text{вх}}/F_{\text{вых}} = 3,25$. Здесь же приведены поля скоростей и углов выхода потока в вертикальной плоскости симметрии выходного сечения канала. Очевидно, что полученный профиль скорости не является оптимальным для эффективного теплообмена в КУ. Поэтому в настоящей работе предусмотрено экспериментальное исследование различных способов создания равномерного поля скоростей, таких, как установка разделительных ребер, вихрегенераторов, турбулизаторов и т.д.

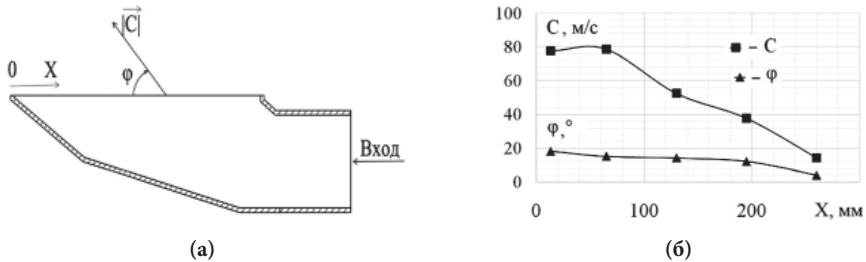


Рис. 1. Внешний вид исследованной модели (а) и поля скоростей и углов выхода потока в выходном сечении (б)

Литература

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций. — М.: Изд. дом МЭИ, 2013. — 648 с.

*Д.М. Андрианов, асп.; А.Ю. Макаров, асп.;
рук-ли В.Г. Грибин, д.т.н., проф.;
И.Ю. Гаврилов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПОТЕРЬ В ТУРБИННОЙ РЕШЕТКЕ

В турбинных ступенях реализуется сложное трехмерное течение, связанное с эффектами вязкости, диссипацией энергии, ударными волнами, нестационарным взаимодействием. Все эти явления приводят к снижению эффективности работы энергетического оборудования. Для анализа физических процессов, связанных с изменением КПД турбинной ступени используют понятие потерь. Которые разделяют на профильные, кромочные, концевые, потери в зазорах, волновые, потери на охлаждение и т.д. Все эти потери приводят к изменениям кинематических и термодинамических параметров потока, мощности ступени, а также всей турбины в целом.

Способы моделирования и количественной оценки этих потерь имеет большое значение при проектировании турбин. Стоит отметить, что разные модели различаются диапазоном применения и точностью, поэтому при их использовании следует уделять особое внимание при их выборе.

Модель потерь Эйнли и Мэттисона [1] предполагает, что на коэффициент потери давления в ступени не влияет число Маха, а суммарные потери делятся на три составляющие. Модель потерь AMDC [1] учитывает такие параметры как число Рейнольдса, число Маха и соотношение высоты к хорде лопаток. Кэйкер и Окапуу [1] внесли некоторые коррективы в классификацию потерь AMDC и рассмотрели влияние сжимаемости жидкости, а также потери от удара при прогнозировании профильных и вторичных потерь. Улучшенная модель потерь называется моделью потерь AMDCO.

Для оценки и анализа влияния проектных параметров на аэродинамические характеристики турбины в начале процесса проектирования турбины, необходимо выбрать соответствующие модели для количественной оценки этих потерь.

В работе представлена методика одномерного проектирования ступеней газовых турбин с использованием моделей потерь, представленных в открытых источниках. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с CFD моделированием ступени. Кроме этого, полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными, имеющимися у коллектива и в открытых источниках.

Литература

1. **Zhengping Zou.** Axial Turbine Aerodynamics for Aero-engines Flow Analysis and Aerodynamics Design. Songtao Wang Huoxing Liu, Weihao Zhang // Shanghai, China. — 2018. — page 563.

К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В энергетических паровых турбинах система парораспределения (СПР) и, следовательно, её исполнительные органы, т.е. регулирующие клапаны (РК), определяют показатели маневренности, экономичности и надежности не только паровой турбины и определенных её функциональных узлов, но и парового турбоагрегата в целом при различных значениях пропуска пара через РК [1]. В течение длительной эксплуатации паровой турбины вследствие различных нарушений в её прочной части, например, увеличение площади сопловых решеток нерегулируемых ступеней из-за интенсивного эрозионного износа твердыми частицами их выходных кромок, происходят ухудшения показателей маневренности, экономичности и надежности не только отдельных цилиндров, но и СПР [2]. При высоком уровне оснащения контрольно-измерительными приборами (КИП) энергетических паровых турбин анализ информации, получаемой от КИП, посредством программного комплекса для диагностики способен качественно изменить подход к организации системы эксплуатационного контроля.

В связи с этим целью данной работы является разработка программного комплекса для диагностики СПР паровой турбины. На первом этапе работы произведена адаптация методики расчета переменного режима регулирующей ступени к условиям работы и её техническому состоянию для турбоагрегата К-300-240-1 ЛМЗ. Проведенный статистический анализ расчетных данных продемонстрировал, что параметрическая идентификация математической модели СПР позволяет определить давление пара за всеми РК и в камере регулирующей ступени со среднеквадратичным отклонением 35 кгс/см^2 во всем допустимом диапазоне изменения расхода свежего пара.

Разработанный алгоритм параметрической идентификации математической модели СПР энергетической паровой турбины по экспериментальным данным позволяет создать адекватную основу для разработки программных комплексов мониторинга и диагностики её технического состояния.

Литература

1. **Зарянкин А.Е.** Регулирующие и стопорно-регулирующие клапаны паровых турбин / А.Е. Зарянкин, Б.П. Симонов. — М.: Издательство МЭИ, 2005. — 360, ил.
2. **Самойлович Г.С.** Переменные и переходные режимы в паровых турбинах / Г.С. Самойлович, Б.М. Трояновский. — М.: Энергоиздат, 1982. — 496 с., ил.

*К.И. Мальцев, аспирант; рук-ли А.С. Заворин, д.т.н., проф.,
А.В. Гиль, к.т.н., доц. (ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», Томск)*

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ТОПОЧНОМ ОБЪЁМЕ ПРИ ПЕРЕВОДЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА НА НЕПРОЕКТНОЕ ТОПЛИВО

Уголь на протяжении многих десятилетий является одним из самых дешевых и доступных источников энергии. Но при этом более 60 % генерирующих мощностей в России имеют срок эксплуатации 30 лет и более [1, 2]. В процессе выработки разреза происходит изменение теплотехнических свойств сжигаемого топлива и исчерпание его запасов.

Использование непроектных углей влечет за собой множество проблем в работе котельного оборудования, наиболее распространёнными проблемами являются: чрезмерное шлакование экранных и конвективных поверхностей нагрева, невозможность несения номинальной нагрузки, повышенные значения температур перегретого пара и металла пароперегревателя.

В настоящей работе представлены результаты численного исследования процессов в топочной камере котельного агрегата БКЗ-220-100Ф Артемовской ТЭЦ при сжигании проектного бурого угля Артемовского месторождения марки ЗБ и непроектных каменных углей Ургальского и Эльгинского месторождений марки Г.

Численные исследования процессов в топочной камере проведены с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent, который является передовым программным продуктом для моделирования гидрогазодинамических процессов с использованием метода конечных элементов.

Для проверки адекватности полученных результатов была проведена верификации модели посредством сравнения результатов численного исследования и тепловых расчётов котельного агрегата [2].

На основе анализа свойств рассматриваемых углей и данных численных исследований, сжигание непроектных углей Ургальского и Эльгинского месторождения в топочной камере парового котла БКЗ-220-100Ф представляется возможным.

Литература

1. **Тумановский А.Г.** Перспективы развития угольных ТЭС России // Теплоэнергетика. — 2016. — № 6. — С. 3–13.
2. **Прогноз и развитие энергетики мира и России 2019** / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН-Московская школа управления СКОЛКОВО. — Москва, 2019. — 210 с.

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

*Я.В. Стожек, студ.; А.М. Бхалла, асп.;
рук. Е.В. Позняк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АМОРТИЗАТОРОВ ДЛЯ ВИБРО- И УДАРОЗАЩИТЫ ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Инерциальная навигация — важный элемент рабочего процесса летательного аппарата, поэтому обеспечивающий её инерциальный измерительный блок (ИИБ) должен быть хорошо защищён от любых воздействий, способных вызвать отказ его работы.

Цель исследования — определение параметров системы амортизаторов для снижения динамической реакции ИИБ (абсолютного ускорения, относительной скорости и относительного перемещения в направлении трех осей).

В процессе исследования были рассмотрены два случая внешнего воздействия на ИИБ:

- пространственное ударное воздействие;
- пространственное широкополосное случайное вибрационное воздействие.

Задачи исследования:

- создание математической модели ИИБ;
- моделирование ударного и вибрационного воздействий;
- финальное моделирование системы в комплексе Simulink;
- постановка численного эксперимента и поиск оптимальных параметров системы амортизаторов.

Модель ИИБ в пространстве состояний в системе Simulink имела четыре степени свободы (по два поступательных перемещения прибора и его корпуса в двух горизонтальных направления), два входа (абсолютное ускорение основания в горизонтальном и вертикальном направлениях) и четыре выхода (абсолютное ускорение прибора в горизонтальном и вертикальном направлениях, относительные перемещения прибора и корпуса прибора в горизонтальном и вертикальном направлениях).

По результатам численного моделирования с ограничениями на взаимные перемещения элементов ИИБ были подобраны оптимальные параметры системы вязкоупругих амортизаторов.

Актуальность исследования определяется практическими инженерными задачами в области вибро — и ударозащиты дорогостоящего оборудования. Результаты работы могут быть полезны специалистам по проектированию оптимальных виброзащитных систем.

*М.Э. Колдин, студ.; А.М. Бхалла, асп.;
рук. Е.В. Позняк, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АМОРТИЗАТОРА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Резинометаллические амортизаторы (РМА) со свинцовым сердечником, расположенным в центре, состоят из пластин, которые чередуются со слоями резины. Рассеивание энергии обеспечивается в основном свинцовым сердечником при его пластических деформациях. Особенностью деформирования является гистерезисное поведение [1].

Цель исследования — определение динамических характеристик РМА при циклическом нагружении и сравнение с характеристиками простого упругого амортизатора и амортизатора с билинейным поведением.

Задачи исследования:

- подготовка трех моделей «тело массой m + амортизатор» (для сравнительного анализа поведения билинейного амортизатора с гистерезисом были рассмотрены три системы: амортизатор в виде упругой пружины, амортизатор с билинейной диаграммой деформирования без гистерезиса, амортизатор с гистерезисом);
- запись уравнения относительного движения массы, соединенной с основанием через нелинейный амортизатор;
- конструирование системы «тело массой m + амортизатор» в Simulink, постановка и проведение численных экспериментов;
- моделирование и исследование свойств амортизатора.

Актуальность исследования заключается в необходимости разработки методики проектирования конструкций, оснащенных нелинейными виброзащитными устройствами с гистерезисным поведением, для максимального снижения сейсмической и вибрационной нагрузки. Новизна исследования состоит в учете нелинейного гистерезисного поведения РМА при циклических нагрузках и подборе оптимальных параметров петли гистерезиса. Результаты настоящей работы могут быть полезны при проектировании и расчётах конструкций, предназначенных для строительства в сейсмически опасных районах, а также при разработке оптимальных систем виброзащиты приборов, оборудования, машиностроительных конструкций.

Литература

1. **Г.В. Мишенков, Е.В. Позняк, В.Е. Хроматов.** Электрические и электронные аппараты. Прикладные задачи виброударозащиты: учеб. пособие для академического бакалавриата / 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — Серия: Университеты России.

М.Н. Зуева, аспирант; рук. А.Н. Воронцов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ С ДЕФЕКТАМИ

В работе исследуется влияние дефектов в канате, таких как локальные обрывы и частичная потеря несущего сечения на прочностные характеристики стального каната двух типов — крутящегося и некрутящегося с учетом собственного веса. Данная проблема актуальна для дальнейшего изучения прогноза остаточного ресурса канатов при их эксплуатации в шахтных стволах.

Механическое состояние каната по М.Ф. Глушко описывается системой уравнений (1):

$$\begin{cases} T(x) = A \frac{du}{dx} + C \frac{dv}{dx}, \\ M(x) = C \frac{du}{dx} + B \frac{dv}{dx}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь T и M — осевое усилие и крутящий момент в поперечном сечении каната, x — продольная координата оси каната, A , B , C — компоненты матрицы жесткости каната, u и v — продольное и угловое перемещения плоских поперечных сечений каната [1].

В конечно-элементной модели каната учитывается кручение, вызываемое только его собственным весом, независимо от величины груза на конце каната. При этом угол поворота каната изменяется по параболическому закону, имея максимум в середине вертикального отвеса и обращаясь в нуль по его концам. Деформация кручения каната изменяется по линейному закону, переходя через нуль в середине его отвеса. Таким образом, сложная нагрузка на канат представляется в виде двух более простых: свободного и чистого растяжения [2].

Также в данной работе рассматривается проблема поиска адаптированного каната — каната с переменным шагом свивки. На практике адаптированный канат реализуется путем ступенчатого изменения шага свивки в определенном диапазоне. Обычно, канат разбивается на 3 участка — верхняя часть каната с удлиненным шагом, середина каната с номинальным шагом и нижняя часть каната с укороченным шагом.

В качестве примера исследованы некрутящийся канат DIERA 1315 CZ и крутящийся PУTHON 8F7KN с учетом собственного веса. Показано влияние дефектов, а именно локальных обрывов и частичной потери сечения в разных частях каната, на его напряженно-деформированное состояние.

Литература

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. Одесса: Астропринт, 2013.
2. Глушко М.Ф. Исследование напряжений в стальных проволочных канатах // В кн. Расчеты на прочность. М.: Машгиз, 1961. Вып. 7.

*А.В. Любаков, А.С. Михальчук, студенты;
рук. Т.Б. Дуйшеналиев, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Задача определения механических констант материалов, по-прежнему, актуальна. В механике материалов модуль Юнга приравнивается величине углового коэффициента начального участка диаграммы деформирования, а коэффициент Пуассона определяется как отношение кольцевой и осевой деформаций в точке цилиндрического образца, где проводятся экспериментальные измерения. Значения секущего модуля, равного угловому коэффициенту луча, проведенного из начала координат в некоторую точку диаграммы деформирования, а также касательного модуля на криволинейном участке этой диаграммы, меняются от точки к точке.

Такие определения механических констант материалов дают разные их величины на разных уровнях деформирования изотропного тела.

Механические константы (константы Ламе λ и μ , модуль Юнга E и коэффициент Пуассона) определены методом наименьших квадратов в системе MathCad на основе нового уравнения опытных диаграмм «нагрузка-деформация» (1) [1]. После определения этих констант, подставляя в правую часть уравнения (1) опытные величины нагрузки и кольцевой деформации

$$\frac{P(t_i)}{\pi R^2}, \quad \varepsilon_\varphi(R, 0, t_i),$$

можно вычислить значения осевой деформации $\varepsilon_z(R, 0, t_i)$, и сравнить их с соответствующими опытными величинами.

$$\varepsilon_z(R, 0, t) = \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{P(t)}{\pi R^2} + 2\lambda \varepsilon_\varphi(R, 0, t) \right) \quad (1)$$

Наряду с определением механических констант, авторы провели вычисления величин радиальной деформации $\varepsilon_r(R, 0, t)$, а также осевого $\sigma_z(R, 0, t)$ и кольцевого $\sigma_\varphi(R, 0, t)$ напряжений в цилиндрическом образце из алюминия.

Механические константы алюминия, определенные на основе уравнения (1) методом наименьших квадратов в системе MathCad, не меняют своих значений на всем протяжении опытной диаграммы деформирования.

Предложенный способ их определения может быть использован научными и проектными организациями, а также студентами технических университетов при изучении различных разделов механики деформируемого твердого тела.

Литература

1. **Жакыпбеков А.Б., Дуйшеналиев Т.Б.** Уравнение диаграммы нагрузка-деформация // Математический журнал. 2004. Т. 4. № 3 (13).

Д.А. Тябуськин, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА СРЕДЫ

Создание нового и диагностика уже существующего энергетического оборудования, работающего в условиях воздействия потоков рабочих сред, является актуальной проблемой. При этом значительное внимание уделяется вопросам совершенствования подходов к решению задач об определении напряженно деформированного состояния. Этой задаче уделяется все большее внимания с учётом ужесточения требований к эксплуатационным характеристикам оборудования в целях повышения его безопасности. Построение новых конструктивно-компоновочных схем энергетического оборудования с более совершенными техническими и эксплуатационными характеристиками базируется, как правило, на методах экспериментального и математического моделирования.

Целью данной работы являлось определение гидродинамических характеристик потока рабочей среды в элементах энергетического оборудования, выявление наиболее нагруженных зон, их дальнейший анализ и оптимизация, разработка предложений по улучшению конструкции изучаемых объектов, транспортирующей жидкие рабочие среды.

Личный вклад автора заключается в проведении расчётов и анализе полученных данных в ходе исследования.

Методом для определения напряженно-деформированного состояния в данной работе является метод контрольных объёмов [1]. Для осуществления расчётов используются программные комплексы ANSYS CFX и ANSYS FLUENT. В качестве рассматриваемого объекта выступает регулирующий клапан, предназначенный для установки в качестве запорного устройства на трубопроводах теплоснабжения, нефтегазовой, химической, металлургической, и других отраслях промышленности.

Практическая ценность проведённых исследований заключается в том, что полученные данные и гидродинамические характеристики потока среды могут быть использованы при решении практических задач. Таким образом, совершенствование конструктивно-технологических решений позволит повысить эксплуатационную надёжность изучаемого объекта.

Литература

1. **Денисов М.А.** Компьютерное моделирование. ANSYS Издательство Уральского университета 2014.

*Г.Д. Евреинова, асп.; А.А. Гольцев, студ.; М.С. Макаров, студ.;
рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО СТЕРЖНЯ НА ПОЯВЛЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕЖСЛОЙНЫХ ТРЕЩИН

Композиционные материалы имеют ряд уникальных свойств, которые проектируются под работу конкретного элемента конструкции [1]. Они слабо сопротивляются межслойным напряжениям, что определяется свойствами матрицы создавать и удерживать форму конструкции. Армирующим компонентам отводится роль элемента, воспринимающего нагрузку. Композиционные материалы все чаще применяются в энергомашиностроении из-за их механических свойств. На данный момент широко разработаны эффективные методы оценки поведения конструкций из композиционных материалов в условиях статического нагружения, однако не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения композитных конструкций при ударном воздействии [2]. При этом возникают повреждения в области площадки контакта, зависящие от энергии, импульса, жесткости и радиуса индентора и мишени. Вместе с тем в объеме материала возникают волны растяжения и сжатия, меняющие свой знак при отражении от границ исследуемой области, поэтому напряжения в объеме могут значительно увеличиваться. Это приводит к образованию расслоений вне контактной области.

Эксперименты проведены в лаборатории механики кафедры РМДиПМ. В работе исследуется и сравнивается характер реакции полупространства из слоистого стеклокомпозита на низкоскоростное ударное воздействие. Для площадки контакта и напряженного состояния сопоставляются точное теоретическое решение и результаты, полученные экспериментально. В работе оценена возможность появления вторичных трещин, результаты сопоставлены с экспериментальными. Для видеофиксации использовалась высокоскоростная видеосъемка с частотой 1000 кадров в секунду, однако скорость волновых процессов выше, что позволяет лишь фиксировать факт появления расслоений в материале. Проведенное исследование позволяет прогнозировать образование поверхностных дефектов, обусловленных контактным взаимодействием, а также появление расслоений внутри объема, порождаемых волновыми процессами.

Литература

1. **Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др.** Композиционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
2. **Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н., Щугорев А.В., Цой В.Э.** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов. Вестник РАЕН. 2018 Т. 18. № 2.

К.В. Жидков, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Изнашивание поверхности металла промышленного энергетического оборудования из-за повторяющихся ударов твердых частиц, импульсных механических воздействий гидравлических ударов потока жидкости — распространенная проблема в энергетической отрасли. Это может приводить к внезапному отказу оборудования и как следствие ремонту и простоя объекта. В связи с этим решение задачи прогнозирования эрозии металла является актуальной проблемой, которая может служить цели определения срока службы и оптимизации конструкции энергетического оборудования, а также предотвратить производственно-эксплуатационные проблемы. Для проведения прогнозирования эрозионного изнашивания были разработаны механистические модели, основанные на эмпирических данных [1].

Целью данной работы является анализ моделей эрозионного изнашивания, разработанных на основе экспериментальных испытаний, а также их применение для решения практических задач определения повреждаемости энергетического оборудования.

Личный вклад автора заключается в проведении аналитического сравнения моделей, расчётов в программных комплексах и анализе полученных в ходе исследования данных.

Для проведения моделирования используются программные комплексы ANSYS CFX, в котором применяется сетка конечных элементов (числовые значения в узлах сетки), схожую с теми, что используется в анализе прочности и ANSYS FLUENT использующий сетку конечных объемов (числовые значения в центрах ячеек).

Перспективы применения результатов исследования заключаются в том, что полученные данные могут использоваться при проектировании оборудования в наименьшей возможной степени подверженного эрозионному износу, при совершенствовании моделей прогнозирования эрозии, а также выявлении элементов энергетического оборудования, которые склонны к выходу из строя из-за эрозионного изнашивания.

Литература

1. **Parsi M., Najmi K., Najafifard F. et al.** A comprehensive review of solid particle erosion modeling for oil and gas wells and pipelines applications // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. — 2014.

*Л.С. Сапунова, асп.; А.В. Егоров, студ.; М.А. Буланова студ.;
рук. В.Н. Щугорев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗОГРЕВА КОМПОЗИТНОЙ БАЛКИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ

Конструктивные элементы такие как балки, пластины и оболочки из композиционных и полимерных материалов помогают решить качественно новые задачи, возникающие при создании электрооборудования. При этом оптимально, если реализуются свойства композитов как электротехнических и конструкционных материалов [1]. Рациональное использование этих материалов, обладающих существенной анизотропией свойств, а также весьма существенным тепловыделением требует тщательной проработки.

Композитные материалы на основе полимерной матрицы подвержены значительному терморазогреву при циклическом нагружении. Тепловыделение пропорционально напряжениям и при циклическом их изменении, терморазогрев может быть весьма существенным, вплоть до того, что полимерная матрица теряет свою конструктивную прочность. Это может привести к разрушению в пределах разогретой области.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры РМДиПМ. Для оценки тепловыделения в полимерном связующем использовалась балка из полиметилметакрилата (ПММА). Балка помещалась в среду с давлением близким к нулевому и консольно закреплялась. Свободный край балки отклонялся, затем балка совершала свободные колебания. За счет внутреннего трения колебания — затухающие. При отсутствии внешнего трения, внутреннее идет на разогрев конструкции. Причем тепловыделение зависит от изменения напряженно деформированного состояния в течение цикла. Применение высокоскоростной видео регистрации позволяет оценить потери энергии за один период колебаний [2]. Это позволяет поставить в соответствие тепловыделение в зависимости от напряжений. Для высокоскоростной видео регистрации использовалась камера с частотой видео съемки 1000 кадров в секунду что позволило снимать до 10 положений балки за период колебаний. Полученные результаты позволяют прогнозировать разогрев композитных элементов конструкций и их прочностные свойства при циклическом нагружении.

Литература

1. **Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др.** Композиционные материалы. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
2. **Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н.» Щугорев А.В., Цой В.Э.** Использование скоростных Action видеокамер для регистрации быстро протекающих механических процессов. Журнал Вестник РАЕН. 2018. Т. 18. № 2.

Д.С. Дикарев, студ.; рук. Е.В. Позняк, д.т.н. проф. (НИУ «МЭИ»);

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО КУРСУ «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ»

Программный комплекс АДТК1 разработан на языке MATLAB, с использованием версии MatlabR2021b по лицензии 40965207 для применения, в качестве вспомогательного средства при обучении студентов решению задач курсового проекта по дисциплине «Аналитическая динамика и теория колебаний» (АДТК), изучаемой студентами 3 курса направления 15.03.03 Прикладная механика, образовательная программа «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры».

Исходные данные для расчета представляют собой выражения для кинетической и потенциальной энергии, а также для диссипативной функции Рэля (рисунок 1). По введенным выражениям с помощью уравнения Лагранжа второго рода производится вывод уравнений движения, отыскание закона движения, построение графиков перемещений, скоростей и ускорений, определение матриц инерции, жесткости, демпфирования, вычисление собственных частот и форм колебаний, построение фазовых траекторий и амплитудно-частотных характеристик [1, 2].



Рис. 1. Блок-схема программного комплекса

Литература

1. **Чирков В.П., Позняк Е.В.** Колебания систем с сосредоточенными параметрами. М. — Издательство МЭИ, 2018.
2. **В.П. Радин, Е.В. Позняк, О.В. Новикова, В.Е. Хроматов.** Решение задач механики материалов и конструкций в системе MATLAB. Инфорно-2018 Материалы IV Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» (23–26 октября 2018 г., Москва) — М.: Издательство МЭИ, 2018.

Д.С. Дикарев, студ.; рук. А.А. Шипков доц., к.т.н. («НИУ МЭИ»)

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Разработан программный комплекс (ПК) «Расчет геометрических характеристик тонкостенных стержней» на языке MATLAB [1], с использованием версии MatlabR2021b по лицензии 40965207 для использования, в качестве вспомогательного средства при обучении студентов решению задач по дисциплине «Строительная механика машин» (СММ). В возможности ПК входят, в том числе: определение координат положения мгновенного центра вращения, моментов инерции (изгибных, в произвольных и главных координатах, крутильного и секториального), моментов сопротивления (крутильного и секториального), построение эпюр главных координат, секториальной площади и функции депланации на основе теоретических положений свободного и стесненного кручения тонкостенных стержней открытого и закрытого профиля [2].

Результаты расчета по разработанной программе были сопоставлены с решением модельных задач, решение для которых было получено аналитически и с использованием программных средств, позволяющих определять геометрические и секториальные характеристики поперечных сечений при этом погрешность не превышала 1% при выборе необходимой степени дискретизации и количества циклов итерационного приближения при определении положения мгновенного центра вращения (рисунок 1).



Рис. 1. Блок-схема программного комплекса

ПК позволяет студенту отработать навыки создания и использования функций в среде MATLAB и применить полученные знания в области программирования для решения практических задач СММ.

Литература

1. **PDF Documentation for MATLAB.** — The MathWorks Inc., Natick, NA, USA, 2021. // www.mathworks.com
2. **Бидерман В.Л.** Механика тонкостенных конструкций. 1977 г.

*Д.С. Дикарев, студ.; рук-ли Е.В. Позняк, д.т.н. проф.,
А.А. Шипков, к.т.н., доц., С.И. Коломенский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО МЕТОДУ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Разработан программный комплекс (ПК) MNP для обучения студентов решению задач методом начальных параметров (МНП) [1, 2] по дисциплинам «Механика материалов и конструкций» и «Строительная механика машин», преподаваемым на втором и четвертом курсах обучения по направлению 15.03.03 Прикладная механика в рамках образовательной программы «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры».

Программный комплекс разработан на основе языка математического программирования MATLAB [3], с использованием версии MatlabR2021b по лицензии 40965207 для решения задач изгиба стержней и рам, кручения стержней, изгиба цилиндрических оболочек. Пользователю предоставляются инструменты для самоконтроля.

Комплекс MNP позволяет:

- решать задачи, как численно, так и аналитически (с записью выражений в общем виде);
- представлять результаты в виде таблиц и осуществлять динамическое построение диаграмм функций прогиба и угла поворота, эпюр силовых факторов и напряжений с возможностью настройки параметров отображения и шага дискретизации;
- проводить проверку правильности определения констант в уравнениях упругой линии и их соответствия скачкам кинематических и силовых факторов на границах участков;
- выявлять ошибки при задании начальных параметров.

Работа с программным комплексом MNP будет способствовать закреплению навыков программирования у студентов, изучению возможностей среды программирования MATLAB, а также структурированию знаний по базовым дисциплинам благодаря целому спектру рассмотренных в нем задач прикладной механики.

Литература

1. **Феодосьев В.И.** Соппротивление материалов. М.: МГТУ, 2018.
2. **Ицкович Г.М., Минин Л.С., Винокуров А.И.** Соппротивление материалов. Руководство к решению задач. В 2 ч. Часть 1: учебное пособие для бакалавриата (под ред. Л.С. Минина) — 4-е изд. — М.: Издательство Юрайт, 2017.
3. **PDF Documentation for MATLAB.** — The MathWorks Inc., Natick, NA, USA, 2021. // www.mathworks.com

С.В. Попиль, студ.; рук. А.А. Шипков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС С РУ ВВЭР

Дефекты трубопроводов представляют собой серьезную угрозу их нормальной работоспособности. Несмотря на прилагаемые усилия, не существует общепринятого правила, которое бы давало четкие указания к последовательности проведения расчетов и анализу, поэтому инженерам приходится прибегать к компромиссу между различными методиками в сочетании с использованием отраслевых нормативных документов. Это ведет к потенциальному перерасходу финансов и трудовых ресурсов на замену или ремонт участка трубопроводной трассы.

Целью данной работы было усовершенствовать существующий подход к определению ресурса трубопроводных систем с дефектами типа утонений путем создания базы данных ресурсных характеристик для различных типоразмеров трубопроводов, нагруженных внутренним давлением. Также был изучен вопрос влияния месторасположения дефекта на особенности напряженно-деформированного состояния фасонных элементов трубопроводов. Был выполнен аналитический обзор исследований отечественных и зарубежных авторов, занимающихся тематикой оценки влияния локальных утонений на ресурс трубопроводов, выявлены перспективные направления дальнейших исследований.

Результаты, полученные автором 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, построенным аналитически по соотношениям, 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. Al-Owaisi S.S., Becker A.A., Sun W. Analysis of shape and location effects of closely spaced metal loss defects in pressured pipes. *Engineering Failure Analysis* 68, 172–186 (2016).
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979.

Э.И. Манчев, студ.; рук. В.Е. Хроматов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СПЕКТРЫ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ИЗ ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА

Современное проектирование приборов и аппаратуры в области радиоэлектроники, электротехники и энергетического машиностроения включает в себя проектирование конструкций, элементами которых являются пластины и оболочки [1]. На спектры колебаний пластин и оболочек существенное влияние может оказать поперечное магнитное поле [2,3].

Целью данной работы является расчет спектров частот колебаний ортотропных ферромагнитных пластин, исследование влияния поперечного магнитного поля на собственные частоты и на их распределение. Для расчета собственных частот колебаний пластин с различными краевыми условиями применяется асимптотический метод В.В. Болотина, математическое обеспечение MatLab, MathCad. Из анализа численных результатов установлено, что поперечное магнитное поле понижает частоты колебаний и при некоторых значениях индукции магнитного поля пластина может терять устойчивость.

Получено соотношение для плотности частот колебаний ортотропной пластины, исследовано влияние поперечного магнитного поля на плотность частот. Разработанный программный комплекс позволяет получить новые численные значения собственных частот колебаний пластины для различных типов закрепления с учетом влияния ортотропии материала и поперечного магнитного поля. Полученные результаты численного моделирования колебаний ортотропных пластин (для различных типов закрепления) в поперечном магнитном поле являются новыми.

Найденные численные значения и выражение для плотности распределения частот колебаний позволяют понять характер поведения элементов конструкций типа пластин, являющихся составными частями, например, в магнитоуправляемых конструкциях.

Литература

1. **Амбарцумян С.А., Багдасарян Г.Е.** Электропроводящие пластинки и оболочки в магнитном поле. М.: Физматлит. 1996.
2. **Хроматов В.Е., Голубева Т.Н.** О влиянии магнитных полей на колебания и устойчивость пластин из ферромагнитного материала // Вестник машиностроения. 2012. № 9.
3. **Корешкова Н.С., Хроматов В.Е.** О влиянии поперечного магнитного поля на спектры частот колебаний пологих оболочек // Изв. РАН. Механика твердого тела. 2009. № 4.

*Р.Е. Ушаков, А.А. Шепелев, студенты; А.А. Мочалов, асп.;
рук. А.Н. Арбеков, д.т.н., проф. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРНОГО РАЗМЕРА ЯЧЕЙКИ ХОНЕЙКОМБА, ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДАМИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, НА ДОПУСТИМУЮ ТЕМПЕРАТУРУ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА

С целью увеличения КПД ТЭС набирает популярность использование низкопотенциального тепла — внутренней энергии отработавшего газа. Для его наиболее эффективного использования применяются, например, хонейкомбы. Довольно низкая температура отработавшего газа предоставляет возможность использования устройств, изготовленных методами аддитивных технологий, что снижает стоимость производства.

Целью данной работы является исследование влияния характерного размера ячейки решетки на температуру набегающего потока, соответствующую началу деформации изделия. При обтекании многоячейстой структуры поток разбивается на несколько потоков, свойства которых зависят от гидравлического диаметра канала.

Эксперимент проводился на малоразмерной аэродинамической трубе с возможностью подогрева рабочего тела [1]. Для исследования были выбраны хонейкомбы из PLA пластика с прямоугольной формой ячеек и одинаковой толщиной стенок, но разными гидравлическими диаметрами.

Температура начала деформации фиксировалась визуально с помощью средств фотофиксации. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

| № образца | Гидравлический диаметр ячейки d, мм | Температура начала деформации t, °C |
|------------------|---|---|
| 1 | 10 | 77 |
| 2 | 13 | 78 |
| 3 | 20 | 75 |

Можно заключить, что у всех образцов совпадает поведение при деформации, а температура её начала отличается в пределах погрешности проведения эксперимента. Влияния размеров на температуру набегающего потока, соответствующую началу деформации изделия обнаружено не было.

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. (в печати).

*Р.Е. Ушаков, К.И. Фомин, Д.А. Гасников, студенты;
рук. А.А. Мочалов, асп. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ КАНАЛАХ

В настоящее время в энергетическом машиностроении набирает актуальность использование низкопотенциального тепла — внутренней энергии отработавшего тела. Гидравлические характеристики трактов, использующих остаток энергии, можно улучшить с помощью газодинамических устройств, например, различных дегурбулизаторов.

Изготовление подобных узлов из металла нецелесообразно, в свою очередь, температура отработавшего тела позволяет применять аддитивные технологии — 3D печать из полимерных материалов. Цель данной работы — качественно и количественно установить различия в значениях температур для образцов из некоторых распространенных материалов для 3D печати.

В ходе эксперимента исследовались опытные образцы из полилактида (PLA), полиэтилентерефталат-гликоля (PETG) и высокопрочного полистирола (HIPS). Температура начала деформации определялась методом фотофиксации. Подробно конструкция установки и методика проведения эксперимента изложены в [1]. В результате были получены температуры деформации, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Температуры размягчения при статическом нагреве и нагреве в потоке

| Материал | Температура, заявленная производителем, °С | Температура, полученная экспериментально, °С |
|----------|--|--|
| PLA | 50 | 75 |
| PETG | 81 | 103 |
| HIPS | 70 | 103 |

Действительные значения температур превышают заявленные производителем. Форма деформации образца из PLA отличается от образцов из PETG и HIPS. Зафиксировано, что скорость деформации образцов из PETG и HIPS после ее начала выше, чем у PLA, и, при достижении температурой набегающего потока значения в 140°С, образцы из PETG и HIPS разрушились полностью и перестали быть пригодны для эксплуатации, в то время как с образцом из PLA подобного не произошло.

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. (в печати)

И.А. Харитонов, асп.; рук. В.К. Драгунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ С ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИЕЙ

Технологическая сварочная электронная пушка является сложным электровакуумным устройством, формирующим аксиально-симметричный электронный пучок с высокой плотностью мощности [1]. К геометрии электродов электронно-оптической системы пушки, а также их взаимному расположению предъявляются высокие требования точности. Как известно, такая особенность обусловлена тем, что форма электродов и их взаимное расположение влияет на геометрию электронного пучка [2]. Одной из причин изменения геометрии электронно-оптической системы является деформация катодного узла, вызванная нагревом. Оценить изменения межэлектродного расстояния и геометрии электродов в реальных условиях невозможно.

В работе оценку деформаций катодного узла производили с помощью математического моделирования тепловых процессов, характерных для электронно-оптической системы пушки. Для верификации тепловой модели был разработан экспериментальный стенд, регистрирующий температуру поверхности катода и корпуса электронной пушки. Геометрия деформированного катодного узла использовалась для моделирования электронного пучка в электронно-оптической системе пушки.

В результате выполненной работы было выявлено, что разработанная тепловая модель электронно-оптической системы является адекватной. Полученные значения температур из натурного эксперимента хорошо коррелируются с температурами, полученными из модели. Из расчета было установлено, что катод и управляющий электрод при нагреве выдвигаются относительно анода на 0.47 мм и 0.26 мм соответственно. Изменение взаимного расположения электродов приводит к изменению уровня запирания пушки. В результате моделирования было установлено, что без учёта деформации пушка запирается при напряжении 2.8 кВ, при учете деформации порог запирания составляет 3.2 кВ.

Полученные значения деформаций катодного узла позволяют учитывать их при разработке конструкции технологических пушек. Тепловая математическая модель позволяет оценивать возможность использования других типов катода на существующих электронных пушках.

Литература

1. **Назаренко О.К., Кайдалов А.А.** Электронно-лучевая сварка. Киев: Наук. думка, 1987.
2. **Чвертко А.И., Назаренко О.К.** Оборудование для электронно-лучевой сварки. Киев: Наук. думка, 1973.

Секция 51
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ
И МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ
Robotic and mechatronic systems

Председатель секции: д.т.н., доцент 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.; А.И. Кобрин, д.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА НЕГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СФЕРОРОБОТА С ВНУТРЕННЕЙ ПЛАТФОРМОЙ, ИМЕЮЩЕЙ ЧЕТЫРЕ ОМНИКОЛЕСА

В настоящее время существует множество работ, посвященных исследованию и разработке мобильных роботов в форме сферы, которые приводятся в движение различными внутренними движителями: маятником; роторами; омниколесной платформой [1] (см. пример робота на рис. 1). В большинстве работ описываются модели кинематики сферороботов, на основе которых создают систему управления роботом. Но точность движения робота, достигаемая при таком подходе, получается невысокой. Поэтому задача разработки моделей динамики сферороботов актуальна [2].

В работе рассматривается сфероробот с внутренней платформой, оснащенной четырьмя омниколесами классического типа. Кинематическая схема робота представлена на рис. 2. Целью исследования является построение модели динамики сфероробота с внутренней омниплатформой.



Рис. 1. Сфероробот [2] с внутренней платформой, имеющей три меканум-колеса

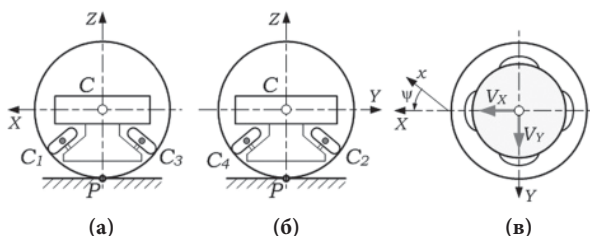


Рис. 2. Сфероробот с внутренней платформой, имеющей четыре омниколеса: (а) вид сбоку; (б) вид спереди; (в) вид сверху

Построены уравнения движения сфероробота в рамках неголономной механики при следующих допущениях: проскальзывание в точках контакта роликов со сферической оболочкой вдоль осей роликов отсутствует; точка контакта сфероробота с опорной поверхностью не проскальзывает; центры масс сферической оболочки и омниплатформы совпадают и находятся в геометрическом центре сфероробота. Рассмотрены базовые движения сфероробота и найдено программное управление движением робота.

Литература

1. **Борисов А.В.** Сферические роботы: механика и управление / А.В. Борисов, И.С. Мамаев, А.А. Килин, Ю.Л. Караваяев // Сборник трудов IV Международной Школы-конференции молодых ученых «Нелинейная динамика машин» (School-NDM 2017). — 2017. — С. 477–482.
2. **Килин А.А., Караваяев Ю.Л., Клековкин А.В.** Кинематическая модель управления высокоманевренным мобильным сферороботом с внутренней омниколесной платформой // Нелинейная динамика. — 2014. — Т. 10. — № 1. — С. 113–126.

*М.С. Салимов, асп.; Г.Р. Сайпулаев, асп.;
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОБОТА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ С УЧЕТОМ ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

Рассматривается динамика робота с дифференциальным приводом при движении на горизонтальной поверхности при использовании комбинированной модели сухого трения (рис. 1). Колёса предполагаются идентичными и движущимися без отрыва от поверхности. Центр масс робота смещен относительно его точки, являющейся серединой оси колёсной пары. В большинстве работ, посвященных динамике подобных систем, контакт с опорной поверхностью описывается моделью сухого трения Кулона [1] или с помощью введения неголономных связей.

Целью исследования является изучение эффектов в динамике двухколесного робота на шероховатой поверхности при описании контактного взаимодействия четырехмерной моделью трения [2].

Построены уравнения движения робота при учете сложной кинематики колес: скольжение, верчение и качение. Сравнительный анализ показал, что при учете поликомпонентного трения диссипация энергии в системе увеличивается по сравнению со случаем модели трения Кулона. Также учет комбинированной модели сухого трения приводит к отклонению траектории точки, являющейся серединой оси колесной пары, от желаемой траектории при использовании программного закона управления. Показано, что в случае модели поликомпонентного трения отклонение траектории будет больше по величине, чем в случае модели трения Кулона. Сделан вывод о существенном влиянии модели контактного трения на динамику робота с дифференциальным приводом.

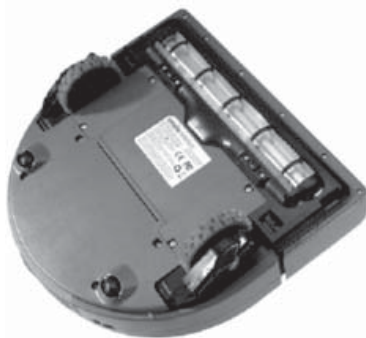


Рис. 1. Вид снизу на двухколесный робот

Литература

1. **Красинский А.Я., Каюмова Д.Р.** О влиянии деформируемости колес на динамику робота с дифференциальным приводом // *Нелинейная динамика*. 2011. № 4(7). С. 803–822.
2. **Андронов В.В., Журавлев В.Ф.** *Сухое трение в задачах механики*. — М. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. — 184 с.

А.Е. Мордин, студ.;
рук. Г.В. Панкратьева, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЯХ В УСТАНОВКЕ МЕКАНУМ-КОЛЁС

Работа посвящена исследованию кинематики мобильной платформы с четырьмя меканум-колёсами при учёте углов отклонения осей колёс от положения, нормального к корпусу платформы. Наличие углов отклонения обусловлено погрешностями сборки, что согласно предположению повлияет на движение платформы.

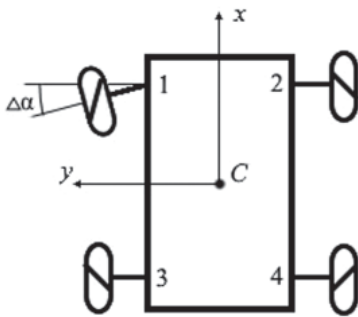


Рис. 1. Схема мобильной платформы

Выбраны эталонные сочетания постоянных угловых скоростей колёс, которые при идеальном расположении осей колёс обеспечивают поступательные движения платформы по прямым вперед, влево и по диагоналям вперед влево и вперед вправо, а также вращение платформы относительно её геометрического центра [1, 2]. Выполнено численное моделирование движения мобильной платформы с эталонными угловыми скоростями колёс при некоторых углах отклонения оси первого колеса.

Учёт погрешности расположения оси колеса приводит к изменению форм траектории геометрического центра платформы: они становятся окружностями. Наименьшие нормы ошибок отработки траектории на больших временах получены для вращения относительно геометрического центра платформы и для движения вдоль диагонали вперед вправо.

Литература

1. **Soni S., Mistry T., Hanath J.** Experimental Analysis of Mecanum wheel and Omni wheel // IJSET. 2014. V. 1. № 3.
2. **Taheri H., Qiao B., Ghaeminezhad N.** Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot // IJCA. 2015. V. 113. № 3.

*В.Ф. Петренко, студ.;
рук. М.Н. Кирсанов, д.ф.м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ФЕРМЫ С УЧЕТОМ ЖЕСТКОСТИ ОПОР ПО ДОНКЕРЛЕЮ В СИСТЕМЕ MAPLE

Объектом исследования является статически определимая ферма с двумя пролетами и ромбовидной решёткой, используемая в робототехнических устройствах, в частности, в манипуляторах для снижения массы и увеличения жесткости. Зависимость первой собственной частоты колебаний фермы от ее размеров, массы, а также числа панелей находится в аналитической форме. Жесткость конструкции с массами, сосредоточенными в ее узлах, определяется по формуле Максвелла–Мора. Приближенное аналитическое решение для нижней оценки ω_D первой частоты ω_1 разыскивается по формуле Донкерлея:

$$\omega_D^{-2} = \sum_{p=1}^K \omega_p^{-2},$$

где ω_p — парциальные частоты, K — число степеней свободы конструкции.

Обобщение серии частных решений для ферм с последовательно увеличивающимся числом панелей производится методом индукции. Все преобразования выполняются в системе компьютерной математики Maple.

Расчет собственных частот колебаний таких конструкций является актуальной задачей наряду с оценкой жесткости и прочности. Аналитические решения возможны в случае простых линейных математических моделей для статически определимых ферм, в [1] приведены примеры таких решений.

Такие решения применимы как для оценки точности численных решений, так и для предварительных расчетов проектируемых моделей роботов, для которых можно подобрать оптимальный вариант с помощью выбора порядка (числа повторяющихся однотипных элементов системы) регулярной системы (системы, построенной из однотипных и одинаково соединенных элементов), ее размеров и распределения жесткостей по отдельным стержням.

Работа выполнена в рамках проекта «Динамика легких стержневых конструкций манипуляторов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» 2020–2022 гг.

Литература

1. **Кирсанов М.Н., Тиньков Д.В.** Анализ собственных частот колебаний плоской фермы с произвольным числом панелей // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. №. 3 (126). С. 284–292.

В. Дони, студ.; рук. Ю.Ю. Зуев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОНОМНЫХ МОНОБЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Последние 20–30 лет активно развивается концепция полностью электрифицированного объекта (ПЭО), имеющего единую электрическую систему для обеспечения всех силовых функций объекта [1]. Традиционными исполнительными модулями ПЭО являются электромеханические приводы, имеющие ряд недостатков: громоздкость, люфты, низкая надёжность и др. Альтернативу составляют автономные моноблочные электрогидростатические приводы (АМЭГСП), выгодно отличающиеся малыми массой и габаритами, широтой диапазона регулирования, отсутствием люфтов и обслуживанием. В состав АМЭГСП входит: электродвигатель, насос, гидродвигатель, блок гидроаппаратуры, иногда — гидробак-сильфон. Эффективность АМЭГСП обусловлена использованием адаптивного насосного (НУ), частотного (ЧУ) и комбинированного управления.

Исследованы возможности ЧУ и НУ в АМЭГСП, построены графики регулировочных и энергетических показателей (см. рис. 1). Дальнейшая работа предполагает исследование динамических характеристик, разработку программного обеспечения для решения исследовательских и проектных задач с целью создания типоразмерного ряда эффективных АМЭГСП для различных объектов концепции ПЭО, в том числе, роботов.

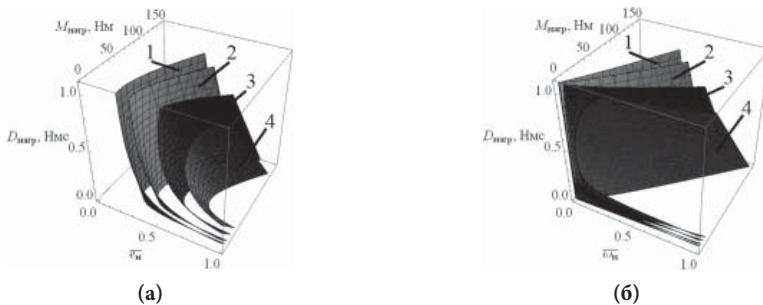


Рис. 1. Графики КПД в пространстве значений $\bar{\epsilon}_n$ ($\bar{\omega}_n$), $M_{нагр}$, $D_{нагр}$:
(а) — АМЭГСП-НУ, (б) — АМЭГСП-ЧУ, где $M_{нагр}$ — момент нагрузки, $D_{нагр}$ — коэффициент вязкого трения нагрузки, $\bar{\epsilon}_n$ ($\bar{\omega}_n$) — параметр насосного (частотного) регулирования, 1 — поверхность КПД 50%, 2 — поверхность КПД 60%, 3 — поверхность КПД 70%, 4 — поверхность КПД 75%

Литература

1. **Редько П.Г.** Концепция развития систем рулевых приводов перспективных самолетов // Новые рубежи авиационной науки: Сб. тезисов IX Междунар. науч.-техн. симпозиума. М., 2007. С. 90.

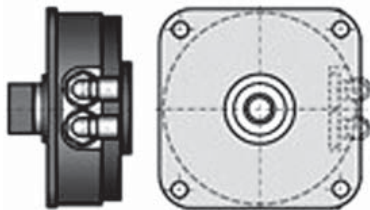
В.В. Замашкин, студ.; рук. Ю.Ю. Зуев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СУСТАВНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ АКТИВНОГО ЭКСОСКЕЛЕТА

В мускульной системе активного экзоскелета (АкЭс) обычно используются электромеханические, пневматические или гидравлические исполнительные модули (ИМ) «разнесённого» исполнения (мотор-редукторы, оболочки-трубки, гидроцилиндры, соединённые с отдельной системой управления и т.п.) [1]. Данные модули громоздки, имеют низкую помехозащищённость, капризны в эксплуатации. Перспективное решение — разработка ИМ, встраиваемых в суставы подвижных конечностей экзоскелета [2, 3]. Структура такого следящего электрогидравлического ИМ-моноблока (внешний вид показан на рисунке) — управляющий электродвигатель, гидроусилитель, гидродвигатель, обратная связь.

В работе сформированы математические модели и алгоритм выбора рациональной схемы, параметрической оптимизации для бедренных, коленных и голеностопных ИМ АкЭс по совокупности энергетических, регулировочных, динамических, массогабаритных и стоимостных показателей.

Получены оригинальные схемотехнические и конструкторские решения ИМ. Дальнейшая работа по тематике предполагает ранжирование и классификацию суставных ИМ, разработку прикладного программного обеспечения, исследование предельных технико-эксплуатационных возможностей конструкций модулей, изготовление и испытания макетных ИМ.



Литература

1. **Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов Д.Б.** Концепция построения системы электрогидравлических следящих приводов двуногого шагающего робота // Наука и образование: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. № 1.
2. **Dongyoung Ltt, Buchun Song, Sang Yong Park and Su Baek.** Development and control of an electro-hydraulic Actuator System for an Exoskeleton Robot // Applied Sciences. 2019. № 9 (20).
3. **Migxing Yang, Cunjin Wang, Zhabg Qi, Xingsong Wang, Haoyong Yu, Yong Zhong, Hualong Zhang, Ruru Xi, Zhenxing Sun.** Design and Model Analysis of a Robotic Joint with Circular Electro-hydraulic // Actuator 2018 3rd International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM). 2018.

И.В. Апанасевич, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМИ МОДЕЛЯМИ В ЗАДАЧЕ СЛЕДОВАНИЯ РОБОТА ПО ТРАЕКТОРИИ

Рассматривается реализация метода MPC (*Model Predictive Control*) [1] в задачах управления дифференциальной, омни — и меканум-платформами. Цель управления — перемещение платформы вдоль заданной траектории с объездом локальных препятствий.

Принцип управления с прогнозирующими моделями (MPC) построен на решении задачи оптимального управления как задачи нелинейного программирования с привлечением соответствующих программных библиотек.

Задачу оптимального управления можно представить как [2]:

$$J_N(x_0, u) = \sum_{k=0}^{N-1} l(x_u(k), u(k)) \rightarrow \min_u,$$

при условии, что:

$$x_u(k+1) = f(x_u(k), u(k)),$$

$$x_u(0) = x_0,$$

$$u(k) \in U, \forall k \in [0; N-1],$$

$$x_u(k) \in X, \forall k \in [0; N],$$

$$l(x_u(k), u(k)) = \|x_u(k) - x_r(k)\|_Q^2 + \|u(k) - u_r(k)\|_R^2,$$

где:

$$\|x_u(k) - x_r(k)\|_Q^2 = [x_u(k) - x_r(k)]^T Q [x_u(k) - x_r(k)],$$

$$\|u(k) - u_r(k)\|_R^2 = [u(k) - u_r(k)]^T R [u(k) - u_r(k)],$$

J_N — функция весов, x_0 — вектор состояний системы в данный момент времени, N — количество шагов предсказания будущих состояний системы, $x_u(k)$ и $u(k)$ — векторы состояния системы управления в k -й момент времени, $l(x_u(k), u(k))$ — функция стоимости на k -ом шаге, $f(x_u(k), u(k))$ — закон изменения состояния системы во времени, U и X — пространства возможных управлений и положений системы, $x_r(k)$ и $u_r(k)$ — опорные векторы положений системы и необходимых управлений, Q и R — весовые матрицы.

В ходе работы был разработан пакет локального планировщика движения для фреймворка *Robot Operating System*.

Литература

1. **Jalali A.A., Nadimi V.** “A Survey on Robust Model Predictive Control from 1999–2006,” 2006 (CIMCA’06), 2006, pp. 207–207, doi: 10.1109/CIMCA.2006.29.
2. **Faulwasser T., Findeisen R.** “Nonlinear Model Predictive Control for Constrained Output Path Following,” in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 61, no. 4, pp. 1026–1039, April 2016, doi: 10.1109/TAC.2015.2466911.

И.В. Апанасевич, студ.; рук. Б.И. Адамов, к.ф.-м.н. (НИУ «МЭИ»)

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ БИПЕДАЛЬНОГО КОЛЕСНОГО РОБОТА

Целью работы является моделирование реального бипедального (двухногого) колесного робота с использованием *Autodesk Inventor*.

Каждая нога робота представляет собой активную рычажную подвеску соответствующего колеса, имеющую одну степень свободы относительно корпуса. На одну конечность приходится по два привода: для вращения колеса и для регулирования высоты подвески.

Актуальность задачи обусловлена высокой маневренностью и проходимостью роботов такой конструкции, что делает перспективным их применение для инспекции складских помещений и реализации доставки товаров на “последней миле” [1].

Была построена 3D модель робота в САПР *Autodesk Inventor* (рис. 1), проведена анимация его движения.

Осуществлено физическое моделирование робота в среде *Gazebo* [2] с подобранным законом стабилизации программного движения робота с помощью ПИД-регуляторов.

Дальнейшая работа над проектом подразумевает создание математической модели динамики мобильного робота и синтез законов управления на её основе.

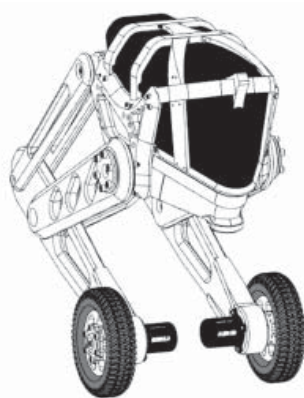


Рис. 1. 3D модель робота в САПР *Autodesk Inventor*

Литература

1. **V. Klemm et al.**, “Ascento: A Two-Wheeled Jumping Robot,” 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019, pp. 7515–7521.
2. **Koenig N., Howard A.** Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator // 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566). — IEEE, 2004. — Т. 3. — С. 2149–2154.

К.А. Компанеец, студ.; рук. О.М. Капустина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ КОСМИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА С УЧЁТОМ УПРУГОСТИ ЕГО ЗВЕНЬЕВ



Рис. 1. Космический манипулятор SRMS (Space Shuttle Remote Manipulator System)

Для выполнения в космосе операций стыковки, переноса в отсек полезного груза и других операций используются бортовые космические манипуляторы. В работе рассматривается космический манипулятор SRMS (Space Shuttle Remote Manipulator System) [1]. С целью учёта упругости звеньев они разбиваются [2] на последовательно соединённые конечные элементы, обладающие различной изгибной и крутильной жёсткостью. Рассчитывается матрица жёсткости манипулятора, приведённая к его схвату.

Представлена авторская программа на языке C, строящая и решающая методом [3] уравнения движения манипулятора. Аналогичная программа составлена на языке Mathematica. Проведён сравнительный анализ эффективности программ.

Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%BC>
2. **Яскевич А.В.** Математическая модель космического манипулятора для полунатурной отработки операций причаливания полезного груза // Изв. РАН Теория и системы управления, 2004, № 4, с. 157–176.
3. **Leontiev V.A.** Extension of LMS formulations for L-stable optimal integration methods with U_0 – V_0 overshoot properties in structural dynamics: the level-symmetric (LS) integration methods. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2007, 71(13), pp. 1598–1632.

*Р.Б. Гарсия, асп.; Д. Диб, асп.;
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АКТИВНОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА

Объектом исследований является многозвенный активный экзоскелет, применяемый для усиления физических возможностей человека, а также для реабилитации пациентов с нарушением опорно-двигательного или вестибулярного аппарата. Актуальность исследований обусловлена широким применением экзоскелетов в медицине, в промышленности и в военном деле. Реабилитация и поддержание вертикального положения пациента с неврологическими патологиями и с двигательными нарушениями существенно усложняется и в настоящее время требует стационарных реабилитационных комплексов и современных лечебных методик.

В докладе поставлена задача разработки математической модели экзоскелета и построения алгоритмов управления электродвигательной силовой частью экзоскелета в виде обратной связи, формируемой по массиву внешней и внутренней измерительной информации о положении элементов конструкции в окружающем пространстве.

Разработанное новое схмотехническое решение активного экзоскелета человека выполнено в виде плотно облегающего комбинезона, в котором имеются достаточно жесткие шарнирно связанные углепластиковые стержни, поддерживающие заданное положение и движение за счет управления двигателями в шарнирах внешнего силового каркаса. Управляющие сигналы для исполнительной силовой системы формируются в виде обратной связи по оценке вектора состояния системы.

В докладе рассмотрен частный случай движения модели тела человека в сагиттальной плоскости, которая делит тело на зеркально-симметричные левую и правую половины. Для описания модели человека в сагиттальной плоскости использована модель перевёрнутого трехзвенного маятника. Стоит отметить, что модель является справедливой для здорового человека, у которого сохраняется полная подвижность суставов. В качестве сенсорного обеспечения экзоскелета предложено использовать микромеханические гироскопы и акселерометры, измеряющие угловое положение и угловую скорость элементов внешнего силового каркаса. Также, с использованием тензодатчиков контролируются реакции в опорах. Построено оптимальное по энергозатратам управление двигателями, расположенных в шарнирных соединениях силового каркаса экзоскелета, обеспечивающее комфортабельное перемещение корпуса человека. Полученная математическая модель системы может быть использована для подбора силовой части приводов.

И.В. Мазур, студ.; рук. А.Б. Гавриленко (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ОДНООСНОГО БАЛАНСИРУЮЩЕГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА



Рис. 1. Робот, сконструированный для проведения испытаний

Данная работа посвящена разработке прототипа одноосевого двухколёсного мобильного робота, выполненного в виде перевернутого маятника (тип segway).

В настоящее время автоматические устройства в виде перевернутого маятника получают все большее распространение в мире. На базе данной конструкции реализуются, например, гироскутеры, роботизированные игрушки.

В данной работе описаны этапы разработки робототехнического комплекса в виде перевернутого маятника. На начальном этапе проведено математическое моделирование разрабатываемого робота. Основан выбор тех или иных компонентов с упором на анализ нескольких критериев: доступность, стоимость, компактность,

низкое энергопотребление и др. Робот собран из выбранных компонентов (Рис. 1). Рассмотрены различные алгоритмы фильтрации и комплементации данных с датчиков [1, С. 711]. Получены результаты тестирования этих алгоритмов на реальном устройстве. Реализованы и протестированы различные законы управления роботом [1, С. 35; 3, С. 112]. Описаны альтернативные варианты конструкции исследуемого робота, которые включают использование иных типов и иного расположения компонентов (с опорой на анализ существующих решений) по сравнению с исходной конфигурацией робота. Некоторые варианты сконструированы для проведения исследования устойчивости вертикального положения равновесия с использованием различных алгоритмов и законов управления. В результате сделан вывод о наилучшей комбинации конструктивной и программной частей.

Литература

1. **Бесекерский В.А., Попов Е.П.** Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975.
2. **Меркин Д.Р.** Введение в теорию устойчивости движения. М.: Наука, 1976.
3. **Петров С.В., Шиловский А.С.** Качество управления транспортным средством «Сегвей» // Вестник СГТУ.2009. № 4 (43). Выпуск 2.

А.С. Широков, студ.;
рук. М.Н. Кирсанов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОГИБА И ПЕРВОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПРОЛЕТОВ

В конструкции роботов нередко в качестве конструктивных элементов используются фермы. Важнейшими эксплуатационными характеристиками фермы являются прогиб и значение первой частоты колебаний. Для конструкции регулярного типа (с периодически повторяющимися элементами) аналитически получена оценка зависимости данных характеристик от числа панелей. Рассмотрена плоская ферма (рис. 1), имеющая $2n$ панелей ($n \geq 2$) с геометрическими параметрами a , h . Ферма симметрична относительно середины. Инерционные свойства фермы моделируются грузами m , расположенными в узлах. Вывод формулы выполнен в системе компьютерной математики Maple методом индукции [1].

Прогиб фермы под действием равномерной узловой нагрузки P получен по формуле Максвелла-Мора. Индукцией по числу панелей n получена формула:

$$\Delta = P(Aa^3 + Cc^3 + Hh^3 + Dd^3) / (8h^2 EF),$$

где EF — жесткость, $c = \sqrt{a^2 + h^2}$, $d = \sqrt{a^2 + 4h^2}$.

Анализ последовательностей коэффициентов дает рекуррентные уравнения, решение которых имеет вид:

$$A = (10n^4 + 20n^2 - 6((-1)^n + 1)n + 3(-1)^n + 33) / 12; \quad D = ((-1)^n + 1)(n-1) / 2;$$

$$C = 6n^2 - ((-1)^n + 5)(2n-1); \quad H = 6n^2 + 2((-1)^n - 7)n - 3(-1)^n + 13.$$

Аналогично, методом индукции с привлечением формулы Максвелла — Мора по методу Донкерлея найдено приближенное значение первой собственной частоты колебаний фермы в виде:

$$\omega_D = h\sqrt{12EF / (m(Aa^3 + Cc^3 + Hh^3 + Dd^3))}.$$

Коэффициенты в формуле имеют вид:

$$A = (64n^5 + 310n^3 + 15((-1)^n - 67)n^2 + (661 - 45(-1)^n)n - 15(-1)^n - 75) / (60n);$$

$$C = (18n^3 + ((-1)^n - 43)n^2 - 3((-1)^n - 9)n - (-1)^n - 2) / n;$$

$$H = (18n^3 - (37 + (-1)^n)n^2 - 3((-1)^n - 21)n + (-1)^n - 26) / n;$$

$$D = ((11 - (-1)^n)n^2 + (-1)^n - 12n + 1) / (4n).$$

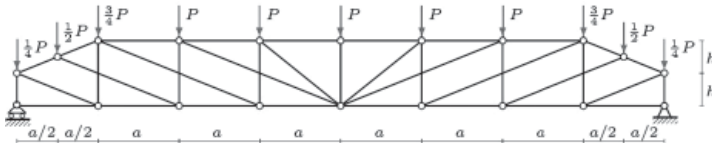


Рис. 1. Ферма при $n=4$

Литература

1. Kirsanov M. Static deflection of a quadrangular rod pyramid: an analytical solution // AlfaBuild 2021. 16. Article No. 1603.

К.А. Шешуков, студ.;
рук. И.В. Меркурьев, д.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЭКЗОСКЕЛЕТА ЧЕЛОВЕКА

В настоящее время идёт активное развитие технологий микроэлектромеханических систем, с помощью которых созданы и продолжают совершенствоваться датчики инерциальной информации (микромеханические гироскопы и акселерометры), миниатюрные тензодатчики, микрочипы, регистрирующие электрофизиологические сигналы мышц, нервной системы и тканей живого организма.

Объектом исследований является новый активный экзоскелет человека для медицинского применения. Поставлена задача создания математической модели активного экзоскелета человека и построения сенсорного и программного обеспечения для решения задачи удержания в вертикальном неустойчивом положении пациента с нарушением вестибулярного или опорно-двигательного аппарата.

В докладе представлена новая конструктивная схема и система датчиков активного экзоскелета человека, позволяющая решить поставленную задачу. Получена упрощенная математическая модель движения активного экзоскелета в сагиттальной плоскости в малой окрестности вертикального неустойчивого положения равновесия человека. В качестве внешней сенсорной информации использованы первичные измерительные сигналы сети микромеханических инерциальных измерительных модулей, регистрирующих угловое движение и отклонение элементов конструкции экзоскелета от местной вертикали. Сеть тензодатчиков, размещенных в подошвах специализированной обуви дает возможность определения нормальных реакций в опорах человека. В качестве прототипа такой сети тензодатчиков использована стабилметрическая платформа, применяемая для анализа способности человека управлять позой тела.

В докладе представлены результаты поиска эффективных способов регистрации и обработки первичных измерительных сигналов сенсорной системы. Показано, что комплексная обработка и фильтрация случайных и систематических помех в измерениях позволяет повысить точность системы стабилизации движения активного экзоскелета. Взаимодействие человека с экзоскелетом позволяет образовать новые обратные связи между мозгом, конечностями и внешней системой сенсоров и приводов, что помогает человеку восстановить естественный механизм движения конечностей, а также косвенно усилить эффект лечебной терапии.

Направление XI
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
Electrical power engineering

Руководитель направления:
Директор института электроэнергетики
НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент
Тульский Владимир Николаевич

*Кафедре электроэнергетических
систем МЭИ – 90 лет
kafedra-ees.ru*



Секция 52
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
Electric power engineering systems

Председатель секции: к.т.н., доцент Кузнецов Олег Николаевич

Секретарь секции: Зубкова Ирина Сергеевна

Н.А. Каримов, студ.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов энергетики является экономичность работы электрической сети. Проблема связана с высоким уровнем потерь электроэнергии — важнейшим показателем эффективности работы электросетевых компаний [1].

В рамках исследования рассмотрен способ оптимизации режима электрической сети по критерию минимума потерь активной мощности. Объектом исследования является сеть с тремя классами номинального напряжения, при этом напряжение на шинах, к которым подключаются источники реактивной мощности (ИРМ), ограничено узким промежутком изменения (10,5–10,7 кВ). Моделирование сети и оптимизация производились в программно-вычислительном комплексе RastrWin [2].

Для анализируемой схемы рассмотрены два расчетных случая. В первом случае регулирование коэффициентов трансформации осуществлялось всеми возможными устройствами регулировкой под нагрузкой, а во втором изменение коэффициентов трансформации осуществлялось только на последней ступени трансформации напряжения. Результатом решения является выявление оптимального набора напряжений узлов, реактивных мощностей источников и коэффициентов трансформации трансформаторов. Проведен экономический анализ, в ходе которого оптимальное решение находилось не только по критерию минимального значения потерь активной мощности, но и с учетом экономических затрат на реализацию режима и технологических ограничений.

По результатам выполненных исследований сделаны выводы о влиянии ИРМ на потери активной мощности в сети, о зависимости результата оптимизации от состава доступного для регулирования напряжения оборудования, а также приведена экономическая оценка эффекта от оптимизации режима.

Полученные результаты могут быть применены при проектировании электроэнергетических систем и планировании их режимов.

Литература

1. **Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко.** Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение / Под ред. Ю.С. Железко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.
2. **Неуймин В.Г., Машалов Е.В., Александров А.С., Багрянцев А.А.** Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя — 29.08.2012.

*А.А. Курналеева, студент;
рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доц. («НИУ МЭИ»)*

КРИТЕРИЙ МДП ДЛЯ РЕВЕРСИВНОЙ СВЯЗИ

Единая электроэнергетическая система России (ЕЭС России) разделена на несколько объединенных энергосистем, которые соединены между собой межсистемными связями. Все параметры объединений и ЕЭС России в целом должны соответствовать определенным требованиям в отношении устойчивости [1]. Определение максимально допустимого перетока (МДП) активной мощности позволяет обеспечивать нормативные требования по устойчивости при управлении режимами работы электроэнергетической системы (ЭЭС) [2].

Для анализируемой схемы рассмотрены два принципиальных случая, характерных для потребления и генерации ЕЭС России: режим наибольших нагрузок (РНБН), соответствующий зимнему максимуму, и режим наименьших нагрузок (РНМН), или, иными словами, летний минимум. В контролируемом сечении меняется направление перетока активной мощности в зависимости от параметров расчетной модели ЭЭС. Для РНБН и РНМН проведен анализ полученных результатов МДП по шести критериям: определено главное условие выбора критерия МДП для рассматриваемой топологии электрической сети при разных параметрах потребления и генерации. Результаты исследования позволяют определить, зависимость характерных значений модели сети и контролируемого МДП, что можно использовать при управлении режимами работы ЭЭС, характеризующимися непостоянным потреблением в разрезе года.

Литература

1. **Методические указания по устойчивости энергосистем.** Утверждены приказом Минэнерго России от 03.08.2018 N 630.
2. **Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях** (с изменениями на 30 марта 2021 года). СТО 59012820.27.010.004-2020.

И.Ю. Ельникова, студ.;
рук. Е.В. Федотова, старший научный сотрудник
НИЛ Глобальных проблем Энергетики, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Цель работы заключалась в актуализации базы данных энергетических мощностей и анализе пространственной структуры парка генерации объединенных энергетических систем (ОЭС) Востока и Сибири. Необходимость актуализации связана с тем, что эмпирические данные для структуры генерирующих мощностей в условиях постоянных изменений, которым подвержены энергосистемы, нуждаются в периодической актуализации.

В качестве исходного массива была использована глобальная база данных Института мировых ресурсов (WRI) [1]. В результате выполнения работы было показано, что исходные данные [1] для установленных мощностей, в целом, соответствуют реальной картине, сложившейся на данный момент в ОЭС Востока и Сибири.

Для актуализации использовались открытые источники информации, в частности [2]. Выполненная актуализация базы данных [1] позволила проследить тенденции, связанные с развитием возобновляемых источников энергии, таких как гидроэлектростанции (ГЭС) и солнечные электростанции СЭС. Обновленные данные позволяют уточнить структуру и определить тенденции развития генерирующих мощностей ОЭС, а также дают полный объем информации, необходимый для их моделирования.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ №18-79-10255 «Исследование потенциала адаптации российской энергетики к современным технологическим вызовам в условиях изменений климата» и является его составной частью в части моделирования работы энергосистем в условиях энергетического перехода.

Литература

1. **Byers L., Friedrich J., Hennig R., Kressig A., Xinyue Li X., Valeri L.M., McCormick C.** Global Power Plant Database. Global Energy Observatory, Google, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm, Enipedia, World Resources Institute. 2018.
2. Сайт АО «Системный оператор Единой энергетической системы» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ups.ru>. (дата обращения: 15.10.2021)

*Д.А. Аверьянов, асп.; рук. О.Н. Кузнецов, к.т.н., доцент
(НИУ МЭИ) (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

На данный момент в мире наблюдается увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) среди вновь вводимых мощностей. В ЕЭС России электростанции на базе ВИЭ в наибольшем количестве присутствует в южных сетях, их суммарная установленная мощность приблизительно равна 640 МВт.

Увеличение доли ВИЭ оказывает отрицательное влияние на электроэнергетические системы (ЭЭС). Это создает определенные вызовы в управлении режимами, сохранении баланса мощности, устойчивости и надежности ЭЭС. Актуальной проблемой становится снижение суммарной инерции в ЭЭС. Оно обусловлено наличием силового преобразователя напряжения в конструкции современных ВИЭ. В СЭС отсутствуют вращающиеся механизмы, а генераторы указанных ВЭУ являются «развязанными» с энергосистемой. Кроме того, инерция системы становится изменяющейся во времени из-за постоянного изменения мощности, выдаваемой ВИЭ [1].

На данный момент в энергосистемах используются традиционные методы обеспечения устойчивости. Однако внедрение новых типов генерации требует разработки и реализации новых методов улучшения условий устойчивости, которые будут прежде всего направлены на снижения отрицательного влияния ВИЭ на устойчивость. К этим методам можно отнести: алгоритмов управления на базе виртуальной синхронной машины, управляемых гибких электропередач переменного тока [2].

В рамках исследования был проведен анализ необходимости и целесообразности применения новых способов обеспечения устойчивости для сетей с различной долей ВИЭ. Результатом данного исследования является методика, определяющая порядок и необходимость применения новых методов повышения устойчивости в ЭЭС с различной долей ВИЭ. Разработанную методику можно будет применять для корректного выбора комплекса мер, направленных на улучшение условий устойчивости в системах с ВИЭ.

Литература

1. **Erlich I., Wilch M.** Primary frequency control by wind turbines // 3rd IEEE PES ISGT Europe (Berlin, 14–17 October 2012). Berlin: IEEE, 2012. P. 2–17.
2. **Воропай Н.И.** Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем // Электричество. — 2020. — № 7. — С. 12–21. DOI: 10.24160/0013-5380-2020-7-12-21

А.А. Самойлов, А.Ю. Мартынушкин, студ.;
рук. Д.А. Аверьянов, асп. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ КАК УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РФ

Распределенная энергетика является ведущим трендом развития электроэнергетики на протяжении нескольких десятков лет. Основными причинами актуальности данного тренда является развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), рост генерирующих мощностей которых очень заметен в ведущих европейских странах, в частности, в Германии [1].

В России ускорение развития распределенной генерации (РГ) обусловлено указом президента РФ №204, в котором представлено четкое руководство по развитию энергосистемы по направлению увеличения числа объектов распределенной генерации [2].

Объекты РГ используются в РФ главным образом для энергообеспечения удалённых населенных пунктов и объектов хозяйствования. Это могут быть как генераторы, использующие традиционные виды топлива (самые распространённые — парогазовые установки (ПГУ), газотурбинные установки (ГТУ), дизельные электроустановки (ДЭС)), так и генераторы, использующие возобновляемые источники энергии — главным образом энергию солнца и движения воздушных масс.

Единственным правилом, необходимым для создания эффективной генерации, является потребность обеспечить качественную и дешёвую электроэнергию, по сравнению с электроэнергией Единой Энергосистемы. Экономическая целесообразность и окупаемость проектов РГ достигается посредством обеспечения выработки более дешёвой или более качественной электрической энергии.

В работе изложены основные методы использования распределённой генерации и выявлены закономерности использования объектов РГ, проведена оценка влияния РГ-агрегатов на общий режим энергосистемы.

Работа призвана повысить качество принятия инвестиционных решения в электроэнергетики посредством более глубокой и чёткой проработки возможности внедрения энергоустановок небольшой мощности в существующую конъюнктуру.

Литература

1. **J. Lee, F. Zhao et al.** GWEC | Global wind report 2021. — 77 p., 2021.
2. **Указ президента РФ** «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07.05.2018 г.

А.Ю. Мартынушкин, студ., А.А. Самойлов, студ.;
рук. М.В. Бурмейстер, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Данная работа посвящена изучению влияния конструктивных особенностей ветроэлектроустановок (ВЭУ) на режим работы электроэнергетической системы (ЭЭС). Одним из типов исполнения современных ВЭУ являются установки с использованием асинхронных машин двойного питания и машин, подключенных к системе через инвертор. Такие конструктивные особенности позволяют регулировать режим работы ВЭУ путем влияния на скорость вращения электромагнитного поля относительно ротора и на непосредственно выдаваемую мощность установки в результате воздействия на параметры преобразователя [1]. Однако, есть и отрицательные стороны применения таких типов исполнения ВЭУ, среди которых ухудшение условий устойчивости ЭЭС. Большинство современных ВЭУ подключаются к общей сети через инверторы, что уменьшает общую эквивалентную постоянную инерции ЭЭС. Это приводит к росту колебаний частоты и напряжения в нормальных режимах и в аварийных ситуациях.

Целью данной работы является описание влияния типа преобразователя в составе конструкции ветроэлектростанции на режим работы ЭЭС, что позволит учесть возможность возникновения негативных последствий их применения и впоследствии принять необходимые технические мероприятия по их устранению.

В рамках работы производилось моделирование ЭЭС в программно-вычислительном комплексе «ETAP» для ее дальнейшего исследования. Моделировалась часть энергосистемы Юга России, поскольку она содержит большое количество объектов генерации на основе ВИЭ. Для упрощения модели принималось, что вся мощность генерации ВИЭ сосредоточена в определенной точке системы. В результате выполненной работы проведен анализ влияния конструктивных особенностей современных ветроэлектроустановок на динамическую устойчивость ЭЭС. По итогам исследования получены следующие результаты: при замещении традиционных электростанций ВЭУ, подключёнными к системе через инверторное присоединение, общая эквивалентная инерция системы уменьшается при увеличении выдачи мощности ВЭУ.

Литература

1. **Song H.H., Qu Y.B.** Energy-based excitation control of doubly-fed induction wind generator for optimum wind energy capture // *Wind Energy*, 16(5), 645–659, 2012.

*И.И. Бердышев, В.А. Меньшов, студенты;
рук. М.В. Бурмейстер, ассистент (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНЕРЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ И ВЕТРОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

При интеграции солнечных (СЭС) и ветровых электростанций (ВЭС) в существующие электроэнергетические системы (ЭЭС) возникает ухудшение условий устойчивости параллельной работы генераторов. Такие электростанции являются источниками активной мощности, но они не увеличивают запас кинетической энергии в системе. СЭС не имеют вращающейся массы, а большинство вновь вводимых ВЭС подключаются через инверторы, тем самым отсутствует инерционный отклик на возмущения.

Возможное решение данной проблемы: применение систем виртуальной инерции (СВИ) — комплекса устройств и алгоритмов, преобразующих постоянный ток в переменный и имитирующий инерционный отклик синхронных машин на возмущения в ЭЭС [1]. В отечественной литературе СВИ практически не описаны, также отсутствует опыт их моделирования.

Цель работы — разработка имитационной модели СВИ в программном комплексе *Matlab Simulink* для дальнейшего анализа электромагнитных и электромеханических переходных процессов в ЭЭС с СЭС и ВЭС.

В результате выполненной работы была разработана имитационная модель СВИ, построенная на топологии «виртуальной синхронной машины», в *Matlab Simulink* [2]. Модель СВИ состоит из блоков преобразования координат ($ABC/d-q$ и $d-q/ABC$), защиты конвертора, подачи уставок, вычисления мощностей, электрического угла и составляющих вектора напряжения на зажимах конвертора. Входными сигналами для СВИ служат мгновенные токи и напряжения в точке присоединения конвертора к ЭЭС, выходными — команды для ШИМ-генератора, управляющего конвертором, с помощью которого СЭС или ВЭС подключаются к ЭЭС. В модели также имеется источник постоянного тока, конвертор и другие элементы.

Разработанная модель СВИ будет использована в дальнейшем авторским коллективом для исследования электромагнитных и 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. Beck H., Hesse R. Virtual synchronous machine // 2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, 2007, pp. 1–6.

*Кафедре электроэнергетических
систем МЭИ – 90 лет
kafedra-ees.ru*



Секция 53
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
Power supply

Председатель секции: к.т.н., доцент Шведов Галактион Владимирович
Секретарь секции: Королева Елизавета Сергеевна

Йе Хтут Мьят, асп.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГРАФИКИ НАГРУЗКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МАНДАЛАЙСКОГО РЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ СОЮЗ МЬЯНМА

Республика Союз Мьянма является одной из развивающихся стран мира, что, как следствие, приводит к бурному росту электрификации населения и росту потребления электроэнергии [1]. Поэтому становится актуальной задача развития распределительных электрических сетей. Для решения данной задачи требуется знание суточных и годовых графиков нагрузки. В настоящее время типовых суточных графиков нагрузки для распределительных сетей Мьянмы нет. Для решения поставленной задачи были обработаны результаты измерений в Мандалайском районе страны.

Годовой график нагрузки Мандалайского района приведен на рис. 1. Из рис. 1 видно, что максимум нагрузки приходится на июнь, так как население длительное время использует мощные электроприемники, такие как кондиционеры, вентиляторы, и т.д. В сельском хозяйстве в этот сезон электроэнергия расходуется на орошение и водоснабжение сельских населенных пунктов [2].

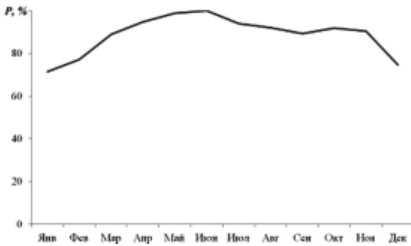


Рис. 1. Годовой график Мандалайского района

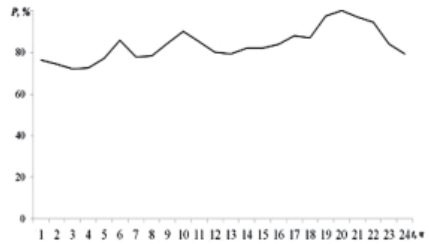


Рис. 2. Суточный график Мандалайского района

Усредненный суточный график нагрузки распределительных сетей Мандалайского района за 3 недели июня приведен на рис. 2. При обработке результатов измерений были отмечено, что для утренних и вечерних часов характерны отключения потребителей, что приводит к нулевым значениям мощности в протоколах измерений. По суточному графику видно, что максимум нагрузки наблюдается в вечерние часы (около 20–21 часов) из-за наложения максимума бытовых потребителей и промышленных предприятий, работающих в ночной период.

В дальнейшем на основе полученных графиков будет проведен анализ режимов работы распределительных сетей страны.

Литература

1. **Министерство электричества и энергетики [Офф. сайт].** <https://www.moe.gov.mm/en/ignite/index>.
2. **Department of meteorology and Hydrology (Myanmar) [Офф. сайт]** <https://www.moezala.gov.mm/current-weather-condition-city16202>.

И.А. Морсин, асп.; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДНЯ ЗИМНЕГО МАКСИМУМА ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

В настоящее время для проектирования систем электроснабжения пользуются стандартами и указаниями из руководящих документов, которые, в свою очередь, основаны на статистике 80-х годов двадцатого века. Как следствие, нормы для проектирования не менялись более 30-ти лет.

В работе были рассмотрены реальные графики нагрузки восьми жилых многоквартирных домов, расположенных в г. Москва, за период с 2017 по 2019 гг., снятые на вводе в дом [1].

С помощью программного комплекса, входящего в состав Excel, был произведен анализ нагрузок жилых домов в разрезе каждого года, проанализирована зависимость дней с максимальной нагрузкой дома от температуры воздуха и был сделан вывод о том, что неверно определять день зимнего максимума нагрузки в разрезе календарного года, поскольку дни со значением близкой к максимальной нагрузке жилого дома за год разбросаны в течение года по следующим сезонам: январь–март и сентябрь–декабрь.

На основании вышесказанного, был произведен анализ нагрузок жилых домов по сезонам (сентябрь–апрель следующего года).

В результате данного анализа получено, что:

- существует корреляция между значением максимальной нагрузки и температурой окружающей воздуха только в неотапливаемый период времени;
- для большинства домов день годового максимума нагрузки сильно различается из года в год.

Литература

1. Демиденко А.С., Шведов Г.В. Суточные Графики Электрических Нагрузок Многоквартирных Домов В Системах Электроснабжения Городов. М.: Энергосбережение Теория И Практика. Труды Десятой Международной Школы-Семинара Молодых Ученых И Специалистов. Курск, 2020. Издательство: ЗАО «Университетская Книга» (Курск).
2. Схема Развития Распределительных Электрических Сетей Напряжением 6–10–20 Кв В Городе Москве На Период До 2030 Года. М.: 2016 Г.

*А.С. Демиденко, С.А. Куделина, Г.А. Парфенов, студенты;
рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

О МЕТОДАХ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Многообразие электроприемников в каждом конкретном объекте создает уникальную электротехническую систему, которую можно охарактеризовать обобщенными параметрами электрической нагрузки. Большая численность, многообразие режимов работы оборудования и разброс номинальных мощностей затрудняют определение нагрузки, создаваемой данной системой, поэтому на ранних стадиях проектирования применяют упрощенные методы расчета нагрузок.

Расчет электрических нагрузок общественных зданий проводится по методу удельных нагрузок в соответствии с РД 34.20.185–94. Удельные расчетные электрические нагрузки представлены в таблице 2.2.1 [1]. В СП 256.1325800.2016 [2] проводится более подробный расчет нагрузок, используется метод коэффициента спроса. Электроприемники разбиваются на характерные группы, в зависимости от назначения и характера работы, и определяются понижающие коэффициенты.

Нельзя подобрать единую методику для всех существующих общественных зданий. Для типовых зданий возможно использование упрощенной методики расчета электрических нагрузок на вводе здания, описанной в РД 34.20.185–94, несмотря на то что фактические нагрузки могут отличаться от расчетных. Но для уникальных зданий и сооружений использование упрощенной методики может повлечь за собой расхождение расчетных нагрузок в десятки раз, так как наполнение таких зданий электроприемниками зависит от множества факторов, которые нельзя предсказать заранее. Например, специальные технические условия на проектирование, определяемые заказчиком. В таком случае требуется более детальный расчет по методике, описанной в СП 256.1325800.2016.

Для уточнения данных по удельным нагрузкам следует собрать данные по как минимум нескольким десяткам-сотням зданий о насыщении их различным электрооборудованием, затем рассчитать электропотребление на вводе с помощью методики, описанной в СП 256.1325800.2016. На основании этой информации возможно введение корректирующих коэффициентов удельных нагрузок в нормативных документах.

Литература

1. РД 34.20.185–94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей», Москва, Энергоатомиздат, 1999.
2. СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», Москва, 2016.

*А.С. Демиденко, С.А. Куделина, Г.А. Парфенов, студенты;
рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АКТУАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ВЫХОДНЫХ ДНЕЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В большинстве справочной литературы в области электроснабжения городов используются типовые графики нагрузки жилых многоквартирных зданий, полученные в 70–90-е годы прошлого века. Многие до сих пор используют устаревшую информацию по проектированию городских электрических сетей, хотя за последнее двадцатилетие во всем мире наблюдался научно-технологический прогресс, привнесенные изменения которого никак не отражены во многих справочниках. Для будущей цифровизации процессов электропотребления необходимо уточнение графиков многоквартирных домов систем электроснабжения городов.

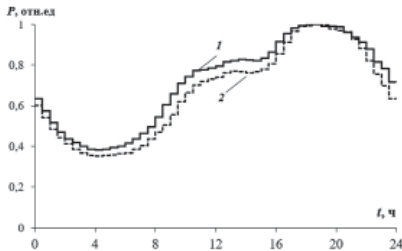


Рис. 1. Актуализированные суточные графики нагрузки выходных дней жилых зданий

В качестве объектов исследования были выбраны семь многоэтажных жилых зданий с электрическими плитами в г. Москва. Осреднение суточного графика нагрузки выходных дней за январь-февраль приведено на рис. 1 (линия 1 — график субботы), (линия 2 — график воскресенья).

Сопоставляя приведенные графики на рис. 1 с графиками из [1] и [2], получим следующие отличия: наименьшая мощность полученных графиков в часы ночного провала нагрузки увеличилась

более, чем в 2 раза; нет дневного провала нагрузки; существенно увеличилась плотность графика.

Литература

1. **Тульчин, И.К.** Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 480 с.
2. **В.А. Козлов, Н.И. Билик, Д.Л. Файбисович.** «Справочник по проектированию электроснабжения городов» Л., 1986.

Е.С. Королева, аспирант; рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ВЫРАБАТЫВАЕМАЯ ТЭС НА ТКО В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

К технологиям термической переработки ТКО относятся: сжигание на механических колосниковых решетках в слоевых топках, сжигание в кипящем слое, сжигание в барабанных печах, сжигание в металлургических печах и другие методы с использованием процессов пиролиза и газификации, в том числе с плазматроном.

В Москве за 2019 год суммарная масса всех ТКО достигла внушительных значений — 8047508,0 тонн, при этом большая часть этих отходов приходится на многоквартирные дома — около 5000000 тонн/год. По прогнозу на ближайшую перспективу в 10 лет масса образующихся ТКО возрастет к 2029 году на 5,6% и составит 8497181 тонн/год.

Для многоквартирных домов установлены нормативы накопления ТКО с перерасчетом на одного проживающего человека в размере 1,45 м³ (272 кг) отходов в год, не включающие крупногабаритные отходы.

На основе анализа технологий термической переработки ТКО было рассчитано количество электрической энергии, выработанной из ТКО, производимых одним человеком в год. [1] Таким образом, для вновь образующихся ТКО технологии сжигания в колосниковых топках (547–618,8 кВт·ч/год) и в топках с кипящим слоем (309 кВт·ч/год) являются наиболее предпочтительными способами их термической утилизации.

Средняя норма накопления для крупных городов России составляет 450–500 кг/год, а значит в городе с населением 350...400 тыс. человек образуется 180...200 тыс. тонн ТКО в год. Из этого объема путем сортировки можно извлечь 10–12% вторичных ресурсов. Остальная масса отходов (примерно 90%) должна утилизироваться с помощью термической переработки либо захоронения. Принимая за единичную мощность 180 тыс. тонн ТКО, мощностной ряд типовых ТЭС на ТКО для крупных городов будет состоять из двух значений: 180 и 360 тыс. тонн ТКО в год. Исходя из мирового опыта эксплуатации ТЭС на ТКО и анализа существующих конденсационных паротурбинных установок, данные значения соответствуют 12 и 24 МВт электрической мощности таких ТЭС.

Литература

1. Удинцев Д.Н., Шведов Г.В., Королева Е.С., Мерзликин А.Б. Оценка потенциала выработки электроэнергии из отходов жизнедеятельности человека в системах электроснабжения городов // *Электроэнергия. Передача и распределение*, 2020. — № 3 (60) — С. 14–18.

А.Ю. Мартынушкин, студ., А.А. Самойлов, студ.;
рук. М.В. Бурмейстер, ассист. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Потенциальное нарастание парка аккумулирующих мощностей для нужд энергетики является актуальным трендом развития функциональных особенностей энергетических систем. Стоимость накопителей электроэнергии имеет тенденцию к постоянному снижению, что объясняется увеличением объемов производства систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) и удешевлением таких изделий.

В Российской Федерации накопители электрической энергии не являются распространёнными. Они применяются в основном в качестве резервных источников питания в системах оперативного постоянного тока. При условии наличия технико-экономического обоснования и потребности соответствующего сектора энергетической отрасли область применения СНЭЭ может быть значительно расширена [1]. В данный момент в РФ тема внедрения накопителей разрабатывается в основном производителями батарей, при этом со стороны компаний, имеющих возможность использовать СНЭЭ для решения технологических задач, существует недопонимание потенциала данного инструмента и как следствие, отсутствие его применения [2].

Цель работы — рассмотрение возможностей использования СНЭЭ различных типов (в дополнение к уже использующимся ГАЭС) в электроэнергетике и построение концепции интеллектуального инжиниринга СНЭЭ на всём жизненном цикле. В результате выполненной работы проведен анализ условий внедрения, основных критериев данной системы и её функциональной реализации. Конечный результат — алгоритм управления СНЭЭ, вырабатывающий оптимальную стратегию своего поведения в какой-либо ситуации, при этом отвечающий возможностям СНЭЭ. Результаты работы можно использовать для реализации таких систем в составе сети с целью улучшения ее технологических характеристик.

Литература

1. **Y. Gusev, P. Subbotin.** «Using battery energy storage systems for load balancing and reactive power compensation distribution grids» // IEEE, 2019.
2. **A. Zhikharev, N. Posypanko, N. Baranov, R. Kostyuk.** “Energy storage systems in Russia. Injection of stable growing” // Vygon Consulting, 2020. P. 54.

*А.С. Демиденко, С.А. Куделина, Г.А. Парфенов, студенты;
рук. Г.В. Шведов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АКТУАЛИЗАЦИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ КВАРТИР СОВРЕМЕННЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Вследствие технического прогресса происходит постоянное изменение и расширение списка используемых в современных квартирах приемников электроэнергии. Однако в большинстве нормативных и справочных источниках для определения расчетных нагрузок жилых зданий приведены значения, полученные в 80-е года прошлого века. Использование устаревшей информации может привести к существенному несовпадению эксплуатационных нагрузок и расчетных значений.

Для уточнения расчетных нагрузок современных квартир были организованы измерения на вводах нескольких квартир. На основании полученных данных были построены графики нагрузки. Время осреднения было выбрано равным 30 минутам. На рисунке 1 для примера приведена нагрузка одной из квартир за 18.09.2021.

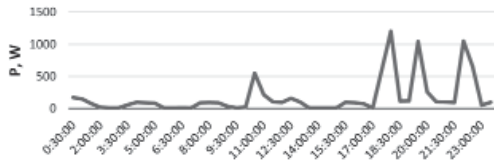


Рис. 1. График нагрузки на вводе в квартиру

Сопоставляя полученные по результатам измерений и обработки данных графики с предлагаемыми расчетными значениями из [1] и [2], получим следующие отличия: наличие частых кратковременных пиков потребляемой мощности, вызванных циклом нагрева разнообразной бытовой техники, пиковое значение потребляемой мощности за все дни измерений не превышало 2 кВт. В дальнейшем исследовании будут обобщены данные по всем анализируемым квартирам за несколько лет.

Литература

1. РД 34.20.185–94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. — М.: Энергоатомиздат, 1999.
2. В.А. Козлов, Н.И. Билик, Д.Л. Файбисович. Справочник по проектированию электроснабжения городов. Л., 1986.

О.Д. Семенова, асп.;
рук. Р.Х. Тукшаитов, д.б.н., проф. (КГЭУ, Казань)

О ПРИРОДЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЯХ И ЕЕ НЕГАТИВНОЙ РОЛИ

В единичных работах авторы отмечают наличие в спектре входного тока нелинейных нагрузок постоянной составляющей [1]. Уровень ее по абсолютному значению является незначительным (0,3–0,9%) и поэтому ее роль в энергетике остается без внимания даже в фундаментальных монографиях [2, 3]. Авторы [1 и др.] просто указывают на наличие постоянной составляющей тока во входной электрической цепи разных нагрузок, не уделяя внимания наличию постоянной составляющей непосредственно в напряжении самой электросети и механизму ее формирования.

Поскольку измеряется энергетический спектр тока во входной цепи нелинейных нагрузок, то постоянную составляющую следует относить к конкретным нелинейным токоприемникам. Возникновение постоянной составляющей входного тока обусловлено асимметрией вольт-амперных и вольт-веберных характеристик разных типов нагрузок (выпрямительное устройство, трансформатор, электродвигатель и др.).

Наличие постоянной составляющей в спектре напряжения питания может также являться источником искажения входных характеристик нелинейных нагрузок. При соответствующих уровнях постоянной составляющей они могут вести к дополнительной потере активной мощности и к перегреву электроприборов и электрооборудования.

В связи с изложенным проведено предварительное электрофизическое моделирование постоянной составляющей напряжения электрической сети и показан характер ее воздействия на работу силового трансформатора мощностью 40 Вт при работе в локальных сетях.

Литература

1. **Вахнина В.В.** Анализ искажения синусоидальной формы кривой напряжения силового трансформатора при насыщении стали магнитопровода и при работе силового трансформатора на трехфазный мостовой выпрямитель // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: Всерос. научно-практ. конф. Казань: КГЭУ, 2019. С. 412–416.
2. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2004.
3. **Управление качеством электроэнергии** / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.

А.Ю. Васина, студ.;
рук. Р.Х. Тукшаитов, д.б.н., проф. (КГЭУ, Казань)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Контроль показаний качества электричества необходим для определения соответствия установленным нормам текущих величин, своевременного выявления повреждений, предотвращения преждевременного износа оборудования и потерь в электрической сети. Для оценки оборудования такого назначения пригодны следующие критерии: широта спектра измерений характеристик качества, удобство эксплуатации, габариты и цена.

В работе проведен сравнительный анализ моделей фирмы «НПФ «Энергоконтроль». В техническом описании приборов приводятся функциональные возможности 4-х их моделей. Две модели, ЭРИС-КЭ.02 и ЭРИС-КЭ.03, позволяют оценить качество электрической энергии по 30 параметрам, две другие модели, ЭРИС-КЭ.04 и ЭРИС-КЭ.05 соответственно по 24 и 19 параметрам. Главный недостаток последних двух приборов заключается в том, что они не позволяют оценить «коэффициент нелинейных искажений» [1] входного тока электроприборов и электрооборудования, напряжение электросети, а также «дозу фликера». В силу больших возможностей первых двух моделей их цена в 2–4 раза больше остальных моделей и достигает на сегодня 500–1000 тыс. руб.

Номинальные значения силы переменного тока ($I_{\text{ном}}$) приборов соответствуют 5А, 16А, 50А, 160А, что для низковольтных электросетей соответствует мощности нагрузок 1,2, 3,7, 11,5 и 34,5 кВт. Главным недостатком анализаторов данной модели заключается в их непригодности для исследования уровня несинусоидальности входных токов многих бытовых и лабораторных приборов при их силе менее 5А [2].

Литература

1. Данные с сайта фирмы-производителя. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/60131-15-eris-ke-mod-02-03-04-05-71661>, (дата обращения: 03.10.2021).
2. Семенова О.Д., Тукшаитов Р.Х. К характеристике соотношения между коэффициентами нелинейных и гармонических искажений и устранению их разночтения // Тинчуринские чтения — 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Матер. Междунар. молод. научн. конф. В 3 томах. Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. — С. 301–305.

Секция 54
ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ
History of energy

*Председатель и секретарь секции:
к.т.н., доцент Тульский Владимир Николаевич*

С.Д. Меньщикова, студ.;
рук-ль М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСТОРИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИДЕИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ. КПД ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Одно из основных преимуществ использования электроэнергетических систем переменного тока — возможность надежной и экономичной передачи электроэнергии на большие расстояния. Но кто доказал возможность передачи энергии на большие расстояния, обосновал выбор системы переменного тока, провел теоретические расчеты и убедил в достоверности результатов исследований?

После создания Фарадеем первого электромашинного генератора, последовавшие вскоре многочисленные изобретения дали возможность практического применения переменного тока. Повсеместное использование электрической свечи П.А. Яблочкова способствовало внедрению переменного тока в практику (при подключении к источнику постоянного тока электрод сгорал в два раза быстрее). П.А. Яблочков первый предложил производить электрическую энергию на «электрических заводах» и доставлять ее в квартиры подобно газу и воде.

В 1882 г. возможность передачи электрической энергии показал французский инженер Марсель Депре, передавший энергию водяной турбины на расстояние 57 км на Мюнхенской выставке. КПД передачи составил 22%. Современники, получившие данные об опытах Депре, убедились в высокой эффективности передачи электроэнергии на дальние расстояния, так как при передаче постоянного тока потери в проводе достигали 75%. Потребовалась разработка ряда теоретических вопросов и проведение многих исследовательских работ. Первую теорию передачи электроэнергии создал российский ученый Д.А. Лачинов. В 1880 году Д.А. Лачинов опубликовал свою статью «Электромеханическая работа», в которой математически обосновал возможность передачи электроэнергии на дальние расстояния без значительных потерь. Это была одна из актуальнейших проблем, вызванная постоянно возрастающими потребностями промышленности. В дальнейшем на основе разработок Лачинова и Депре стали строиться линии электропередач напряжением более 1000 В, что стимулировало появление силовых трансформаторов.

Это были талантливые исследователи, инженеры XIX века, которые создавали новый мир электротехники и электроэнергетики.

Литература

1. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

*А.А. Булавина, В.Д. Битней, Д.М. Габдушев, студенты;
рук. Г.Ч. Чо, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ПОДСТАНЦИИ «ЧАГИНО» В 2005 ГОДУ

В Москве и ближайших регионах расположена основная часть энергосистемы России в связи с высокой концентрацией промышленных предприятий и значительным количеством магистральных линий РФ. Не смотря на ожидаемый высокий уровень устойчивости и бесперебойности энергоснабжения, 25 мая 2005 года произошла авария на подстанции (ПС) «Чагино», которая привела к разрыву московского энергокольца 500 кВ и нарушению работы линий 220 и 110 кВ.

Целью исследования являлся анализ причин аварии на ПС «Чагино» 2005 года, ее последствий и принятых мероприятий по предотвращению появлений аналогичных событий.

Стартовой точкой развития аварии послужил взрыв трансформатора тока на данной ПС с последующим отключением части воздушных линий. Последующие аварии происходили по причине высокой температуры и непредвиденных перетоков мощности из-за перевода потребителей от ПС «Чагино» на ближайшие ПС в направлении Тулы и Калуги. Как итог, эта авария повлияла на жизнь около 5 млн человек. Тысячи строений, включая школы, больницы и заводы, и 5 линий Московского метрополитена оказались обесточены. По области отключились 217 подстанций.

По результатам расследования было принято решение по установке батарей статических конденсаторов (БСК) на наиболее загруженных ВЛ для уменьшения передачи реактивной мощности. На девяти ПС были запущены в работу БСК общей мощностью 600 Мвар. Для повышения надежности электроснабжения в регионах с повышенным ростом количества потребителей В.К. Паули ввел понятие «эшелонирования компенсации реактивной мощности», то есть ввод компенсирующих устройств в трех группах электрической сети: на ПС ЕНЭС (Единой национальной электрической сети), ПС РСК (Распределительной сетевой компании) и ПС потребителей. На сегодняшний день для предотвращения похожих аварий был проведен ряд мероприятий. Выпущены такие приказы, как: «Правила технологического функционирования электроэнергетических систем» (постановление ПП РФ от 13.08.2018 № 937); «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (приказ Минэнерго России от 12.07.2018 № 548).

Литература

1. Отчет по расследованию аварии в ЕЭС России, произошедшей 25.05.2005 / ОАО РАО «ЕЭС России»; исполн. Паули В.К. — М., 2005. — 30 стр.

*Р.Ю. Гоенко, Д.В. Кукис, студенты; Е.А. Илюшкина, соиск.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ВКЛАД ДВИГАТЕЛЯ «УРАЛ V» В РАЗВИТИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Отечественная война поставила перед советской промышленностью ряд новых задач, связанных с интенсивным восстановлением хозяйства страны. Неотъемлемой частью промышленности являются вращающиеся машины, в том числе асинхронные двигатели, которые используются во многих отраслях народного хозяйства. На тот момент не было двигателя, который бы соответствовал всем задачам, поставленным нелёгким временем. Особенно необходимы были маломощные двигатели для выездных работ. Эта машина должна была быть надёжной, экономичной и простой в массовом производстве. На то время в Советском союзе не было двигателя, удовлетворяющего данным критериям.

Задача создания такой машины была поставлена группе инженеров Баранчинского завода во главе с Валентином Романовичем Ставровицким. Первые модели двигателей, которые получили название «Урал», были далеки от идеала: часто были поломки, двигатель работал неравномерно и был неудобен в эксплуатации. Однако уже в 1944 году он был использован для откачки колоссального объёма воды из затопленных угольных шахт Донбасса. Модель позволила откачать около 650 миллионов кубических метров воды за рекордные сроки, в то время как традиционный подход мог потребовать до 5 лет работы. За изобретение этого двигателя и его вклад в победу советский инженер В. Р. Ставровицкий был удостоен посмертно Сталинской премии [1].

Основными особенностями новой серии двигателей «Урал V» стали соответствие принципам массового производства, надёжность и долговечность, экономичность при производстве и красивый внешний вид. Основной особенностью, которую внёс Эммануил Давидович Кравчик — один из создателей двигателя — стал новый тип обмоток, обеспечивающий бесперебойную работу двигателя.

Сейчас завод «Уралэлектро» выпускает новые поколения двигателя «Урал». Сложно оценить то влияние, какое первая модель оказала на современные модели двигателей.

Литература

1. **Прокопьева С.Ю.** Дважды орденоносный: дайджест о Баранчинском заводе в годы Великой Отечественной войны // Библиотечно-информационный центр Кушвинского городского округа (БИЦ КГО). 2019. — 22 с., с. 9.

*А.А. Самойлов, А.Ю. Мартынушкин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СССР И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы накопления электроэнергии (СНЭЭ) являются важной частью технологической революции, которая уже в данный момент изменяет энергетическую концепцию человечества. СНЭЭ позволяют обеспечить решение целого ряда проблем в хранении, преобразовании энергии, реализации оптимальных режимов электроэнергетической системы, облегчают организацию электроснабжения особо ответственных потребителей и питание потребителей с нестандартными параметрами [1].

Первые накопители для нужд электроэнергетики были выполнены в виде гидроаккумулирующих электрических станций (ГАЭС) — так в 1882 году в Швейцарии, в окрестностях Цюриха, была построена установка Леттен с двумя насосами, общей мощностью в 103 кВт. Первая в России ГАЭС — Кубанская (Карачаево-Черкесия), введена в эксплуатацию в 1967 году. Главный недостаток ГАЭС — большая отчуждаемая площадь и большие капитальные затраты, а также низкая скорость реакции на дефициты мощности, однако даже сейчас они являются самым распространённым типом СНЭЭ в мире.

Решением данной проблемы стало бы изобретение компактного и ёмкого накопителя, способного оперативно выдавать мощность в сеть. Накопителями, решавшими данные проблемы, являлись сверхпроводниковые индуктивные накопители электроэнергии (СПИНЭ), в которых энергия запасалась в виде магнитного поля сверхпроводниковой катушки. Их концепция была представлена в марте 1969 года на I международной конференции «Низкие температуры и электроэнергетика» в Лондоне [2]. Развитие концепций систем накопления электроэнергии в СССР показало огромный рост в 1980х годах — планировалось, что к 2000 году до 10% потребляемой электроэнергии будет проходить через СНЭЭ.

На данный момент в качестве СНЭЭ в электроэнергетике получают распространение литий-ионные аккумуляторы, а также ещё один быстродействующих накопителей — супермаховики. По конструкции супермаховик представляет из себя систему вращающихся грузов, находящихся в вакуумированном пространстве [3].

Литература

1. Д.А. Бут, Б.П. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич. Накопители энергии. Энергоатомиздат. — 400 с., 1991.
2. В.А. Веников. Сверхпроводники в энергетике. Энергия, 1972.
3. Н.В. Гулиа. Удивительная механика. НЦ ЭНАС — 176 с., 2006.

Ю. Цюань, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ГЭС КСИЛУОДУ

С момента пуска в эксплуатацию первой гидроэлектростанции в 1912 году история гидроэнергии в Китае насчитывает около 100 лет. Из-за уникальной географической характеристики Китая, состоящей из высокого запада и нижнего востока, большая часть гидроэнергетических ресурсов сосредоточена в юго-западном регионе [2]. ГЭС Ксилуоду расположена в низовьях реки Цзиньша на стыке уезда Лейбо в провинции Сычуань и уезда Юншань в провинции Юньнань [4]. От предварительного технико-экономического обоснования, начатого в 1985 году до времени, когда все блоки были введены в эксплуатацию в 2014 году, прошло 29 лет [1], [3].

ГЭС Ксилуоду, который является магистральным проектом для электропередачи с запада на восток, помогает реализовать рациональное распределение энергии в Китае, улучшать структуру энергоснабжения, улучшать экологическую среду, способствовать экономическому развитию западного региона, и способствует экономическому устойчивому развитию бассейна реки Янцзы и имеет далеко идущее историческое значение и эффект [1].

Литература

1. **Чжан Чаоран**, Знакомство с ГЭС Ксилуоду. Строительство трех ущелий в Китае, 01.1996.
2. **Ченг Сюэминь**, Гидроэнергетика и региональное экономическое развитие — также о распределении гидроэнергетических ресурсов Китая и передаче электроэнергии с запада на восток, Гидроэнергетика. 06.1985.
3. **Дэн Ди Яо**, ГЭС Ксилуоду: Умное строительство делает качественные товары, зеленое развитие создает гармонию. Три ущелья Китая, 02.2021.
4. **Ван Ренкунь**, Выбор площадки для плотины ГЭС Ксилуоду на реке Цзиньша. Гидроэнергетика в провинции Сычуань, 09.1994.

И.С. Полыгалин, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ПОЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

В XIX–XX веках вопросы развития Нижегородской энергосистемы рассматривались в рамках теоретических и практических направлений. Большое количество работ было посвящено разработке инженерно-технических устройств и оборудований, основной целью которых было обеспечение Нижнего Новгорода электроэнергией. Одной из возможностей и методом образования было создание системы электростанций, способной обеспечить весь город и близлежащие территории. Применение автономных и довольно эффективных источников питания смогли бы бесперебойно и повсеместно давать подпитку всем промышленным предприятиям города.

От разборных и переносных установок до крупномасштабных электростанций энергосистема города росла и становилась все более надежной, безопасной и высокоэффективной.

На протяжении целого столетия реализацией ряда проектов занимались самые разные личности. Среди русских ученых и предпринимателей стоит выделить таких, как Александр Степанович Попов, Рафаил Карлович Гартман, Владимир Григорьевич Шухов и многие другие. Именно они положили начало появления в Нижнем Новгороде электричества.

С развитием электроэнергетики началось и развитие трамваестроения, правительство заботилось о своих гражданах и пыталось благоустроить город, тем самым потребность в электричестве росла [1]. Именно для этого приезжали ученые из самых разных уголков не только нашей страны, но и из-за границы. Время на реализацию проектов требовалось немало, на некоторые уходил не один год, а даже десятилетия, так как они требовали строго плана действий и четкой настройки оборудования.

В военное время энергетика страны быстро перестроилась и начала активно усиливать развитие оборонной промышленности. Из-за частых бомбардировок немецкими самолетами, рабочие старались восстанавливать и строить новые подстанции, что даже в военное время мощность станций увеличилась более чем в 20% [2, 3].

Таким образом, результатом надежной энергосистемы в Нижнем Новгороде, стало тяжелая и упорная работа над созданием эффективных методов добычи и использования электроэнергии. Многие из которых используются и в настоящее время.

Литература

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Нижегородский_трамвай (Нижегородский трамвай)
2. **В. Громов.** «Энергоармия. Рассказы об истории энергетики России»: TATLIN, издание, 2018
3. <https://peretok.ru/articles/strategy/5240/> (Энергетика в годы войны: всё для фронта, всё для Победы!)

А.А. Пахмутова, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАНА ГОЭЛРО В ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

К 1918 году в Ярославле действовала одна электростанция, мощности которой не хватало для работы местных предприятий, поэтому московское товарищество «Торфоснабжение» предложило организовать разработку торфа и строительство электрической станции (ЭС) на Ляпинском болоте на левом берегу Волги. [1]

Из-за совокупности негативных экономических факторов запланированные на сезон 1920-го года работы так и не начались. Но проектировщики ЭС Классон и Кирпичников сделали так, чтобы ЭС вошла в план ГОЭЛРО. [2] Также они убедили Ленина в эффективности добычи торфа гидравлическим способом. В сезон 1921 года началась первая торфодобыча. Условия труда были крайне тяжёлыми, однако Ляпинский торф был первоклассным топливом. Вначале его покупало лишь одно Ярославское предприятие, но в 1923 году его начали поставлять в Москву.

Строительство ЭС затянулось: ее открыли на 4 года позже указанных сроков. Проблемы были с финансированием: ссуды от государства так и не были выделены, поэтому в Ярославле организовали АО, участниками которого стали местные предприятия и частные лица. Взносы вносили не только деньгами, но и турбогенераторами, котлами, и даже мукой.

Помимо этого, существовали проблемы, связанные с поставкой оборудования: ЭС, с которых собирались демонтировать турбогенераторы, внезапно опротестовывали передачу. В результате нашли довольно изношенное оборудование. Его в срочном порядке установили без предварительного ремонта, так как откладывать запуск ЭС не хотели.

Городская электрическая сеть была разрушена в результате белогвардейского мятежа в 1918 году. Для ее восстановления использовалось изношенное оборудование, технологии монтажа энергетического оборудования также не были достаточно апробированы, что в совокупности сказывалось на надёжности электроснабжения.

Ляпинская ГРЭС, отработав почти 70 лет, утратила свой статус в 1993 году и стала котельной, которая на данный момент отапливает порядка 22 тыс. жителей. Торфоразработки на Ляпинском болоте прекратились в 1996 году, и на данный момент оно является особо охраняемой природной территорией.

Литература

1. **Филиал ПАО «Россети Центр»-«Ярэнерго»**; Исторические архивные материалы Музея истории Ярославской энергосистемы.
2. **В.А. Белоцветов, С.Д. Гефтер, В.Д. Кирпичников, Р.Э. Классон, М.К. Поливанов**; Электрификация Центрально-Промышленного района; «План ГОЭЛРО» 1-е издание; Научно-технический отдел ВСНХ, Государственное техническое издательство М. 1920. стр. 3–116.

П.А. Букина, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

АМПЛИДИН ЭМУ — ОДНО УСТРОЙСТВО ДЛЯ МНОЖЕСТВА ОТРАСЛЕЙ

Слово «амплидин» происходит от двух английских слов: «amplifier dynamo», дословно — усилительная динамо-машина. [1]. Основное назначение амплидина — управление большими массами с большой точностью за счёт малых входных мощностей. ЭМУ нашёл применение в военной, тяжёлой промышленности, транспорте, электроэнергетике. Создателем устройства считается шведско-американский инженер Эрнст Александерсон. Его разработка во время Второй Мировой Войны позволяла плавно и с большой точностью наводить оружие на цель [2].

ЭМУ делятся на усилители поперечного и продольного поля. Амплидин относится к числу первых. Это усовершенствованный генератор, который закреплён на одном валу с двигателем, вращающим его. Устройство содержит две системы щёток, одна из них закорачивается (щётки в этой паре носят название «квадратурные»), это даёт минимальное сопротивление в цепи якоря [1]. Вторая система щёток служит для питания нагрузки. Пары щёток перпендикулярны друг другу. Данное устройство позволяет увеличивать входной сигнал в тысячи раз [3].

Существуют другие виды ЭМУ поперечного поля, среди них магникон и метадин. Магникон отличается от амплидина улучшенной коммутацией, что позволяет не иметь дополнительных полюсов. Метадин отличается тем, что реакция якоря в нём скомпенсирована неполностью, также в нём могут быть не замкнуты накопотно щётки [1].

Габаритные электромашинные усилители разных типов в настоящее время сменили мощные и компактные устройства или схемы. В определённый период истории электротехники амплидин ЭМУ занимал важное место в системах управления и регулирования, позволял выполнять регулирование скорости и ускорения в широких пределах или по заданному графику осуществлять частые пуски, торможения, перемены направления вращения почти без применения дополнительной сложной аппаратуры [3].

Литература

1. **Бергер А.Я.** Электромашинные усилители (ЭМУ), 1959.
2. **Микеров А.Г.** Магнитные усилители — между лампами и транзисторами. Control Engineering Россия, 2020, № 4 (88). Стр. 84–87.
3. **Меклер А.Г.** Электрооборудование подъемно-транспортных машин, 1959.

Д.В. Стаценко, В.В. Городничева, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

РЕЛЕ ТОКА ЭТ 521/2 КАК ИНДИКАТОР РАЗВИТИЯ СССР В ГОДЫ ПЯТИЛЕТОК

В годы пятилеток особое внимание уделялось освоению и усовершенствованию новой техники в сфере релестроения и автоматики. По итогам Всесоюзного совещания было принято решение о реформации имеющихся аппаратов. Под руководством проектного института «Теплоэлектропроект» и профессоров кафедры Релейной защиты и Автоматики МЭИ (В.Л. Фабриканта и И.И. Соловьева) было усовершенствовано реле тока Э-60 до более компактного и устойчивого к вибрациям реле ЭТ-521/2. [1] Разработка, создание и испытания РТ-521/2 велись сначала в Харькове, затем на Чебоксарском Электроаппаратном заводе (ЧЭАЗ), который работает в настоящее время. Имеются основания считать, что за основу реле РТ-521/2 была взята конструкция немецкой компании Siemens «RV2» [2]. В основе принципа работы лежал двоичный код, где ноль — исходное состояние якоря и единица — состояние срабатывания якоря при превышении номинального тока. Даже визуально имеются сходства: корпус обоих приборов был выполнен из черного пластика для облегчения конструкции. РТ-521/2 активно применялось в технике СССР вплоть до 1960-х годов, например, в комплектно-распределительных шкафах 6–10 кВ, используемых в горной промышленности. Корпус данного реле был подходящим для данных условий, сильно устойчивым к пыли и влаге. Разработки РТ-521/2 привели к созданию более нового реле тока «РТ-40», на котором обучаются и выполняют лабораторные работы студенты старших курсов кафедры Релейной защиты и Автоматики «НИУ «МЭИ»».

Литература

1. **В.Л. Фабрикант**; Теория обмоток реле переменного тока «ГОСЭНЕРГОИЗДАТ»; 1958; 7–10 с.
2. **Д.М. Зекцер**; статья «Разновидности реле тока»; журнал «Автоматика, телемеханика и связь»; 1965; выпуск № 05.

А.В. Мележик, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ЖАМБЫЛСКАЯ ГРЭС — ВАЖНЫЙ ЭНЕРГОИСТОЧНИК ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Основы современной энергетической базы Республики Казахстан закладывались в послевоенные годы (1945–1960 гг.). В этот период стали создаваться энергетические объединения. В Южно-Казахстанской энергосистеме особенно энергоемкими стали предприятия химической промышленности [1].

В 1964 году преимущественно для предприятий быстроразвивающейся химической промышленности Южного Казахстана было начато строительство Джамбульской государственной районной электростанции. (с 1993 года в связи с переименованием области — Жамбылской). Строительство Джамбульской ГРЭС стало Всесоюзной ударной комсомольско-молодежной стройкой.

На первом этапе мощность первой очереди электростанции была определена в 600 МВт из трёх дубль-блоков мощностью по 200 МВт с прямоточными газомазутными котлами. 6 ноября 1967 года первый по счету энергоблок был поставлен под нагрузку. 30 июля 1969 года, с пуском третьего энергоблока, было завершено строительство первой очереди установленной мощностью 600 МВт. В 1974–1976 годах — строительство второй очереди Джамбульской ГРЭС с тремя моноблоками мощностью по 210 МВт. Установленная мощность электростанции достигла проектной — 1230 МВт [2]. Джамбульская ГРЭС стала первой в республике электростанцией проектной мощностью более миллиона кВт.

В 1999 году станции присвоено имя первого министра энергетики и электрификации Казахской ССР Т.И. Батурова. Коллектив Джамбульской ГРЭС неоднократно удостоивался высоких правительственных наград.

На разных этапах строительства и развития у предприятия были и успехи, были и тяжелые моменты. Максимальная загрузка производственных мощностей Жамбылской ГРЭС отмечалась в 1980–1990-х годах, минимальная — в двухтысячных годах.

Опыт работы последних лет показывает, что ни один режим работы объединенной энергосистемы Казахстана не мог и не может обеспечить покрытия нагрузок без задействования в осенне-зимний период Жамбылской ГРЭС.

Литература

1. **К. Дукенебаев.** Энергетика Казахстана. Условия и механизмы ее устойчивого развития. Алматы, 2004.
2. Совет ветеранов-энергетиков Казахстанской Электроэнергетической Ассоциации. История энергетики Казахстана. Алматы, 2016.

Я.Р. Пархоменко, студ. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ СТАВРОПОЛЬЯ

История энергетики Ставропольского края берёт своё начало в 1897 году. В этом году купцом Георгием Ивановым была построена первая электростанция. В 1908 году она получила статус основной городской электростанции и перешла в собственность города [1].

В 1903 году на реке Подкумок в Ессентуках была введена в эксплуатацию гидроэлектростанция «Белый Уголь» мощностью 990 л. с. [2]. Она считается первой промышленной гидроэлектростанцией России.

В 1913 году начала осуществлять свою работу Пятигорская дизельная электростанция мощностью 800 л. с., которую в том же году при помощи линии электропередачи напряжением 8 кВ объединили с ГЭС «Белый Уголь». Состоялось важнейшее для мировой энергетики событие: это был первый в России опыт параллельной работы тепловой и гидравлической электростанций, прообраз современных энергосистем [1].

20 сентября 1936 года дал ток первый гидроагрегат Баксан-ГЭС. После ввода в эксплуатацию в Кабардино-Балкарии Баксанской ГЭС, от нее была проведена в Ставрополье первая линия электропередачи напряжением 110 кВ [2]. Исторически эта дата и считается началом формирования Ставропольской энергосистемы.

В 1958 году было начато строительство ТЭЦ при Невинномыском азотно-туковом заводе (сейчас — Невинномысская ГРЭС). В 1972 году на ГРЭС была введена в эксплуатацию первая в СССР ПГУ мощностью 170 МВт. Для выдачи мощности станции была построена первая в Ставропольском крае линия электропередачи напряжением 330 кВ [3].

В 2019 году была введена в эксплуатацию первая солнечная электростанция региона — Старомарьевская СЭС (100 МВт). Она является второй по мощности солнечной электростанцией в России, первое место занимает крымская СЭС Перово мощностью 105,56 МВт.

В январе 2021 года начала поставлять электроэнергию и мощность на ОРЭМ Кочубеевская ВЭС — крупнейшая в России ветряная электростанция.

Литература

1. **Россети Северный Кавказ:** https://www.rossetisk.ru/press_center/company_news/odna_iz_stareyshikh_energokompaniy_v_rossii_stavropolenergo_otmechaet_80_letie/
2. **М.И. Дворецкая, А.П. Жданова, О.Г. Лушников, И.В. Слива** Возобновляемая энергия. Гидроэлектростанции России. — СПб.: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2018. — 224 с.
3. **А.Е. Ивлев.** Модели развития электроэнергетики региона (На материалах Ставропольского края): Дис. канд. экон. наук: Ставрополь, 2004, 172 с.

*Л.А. Веренцов, Д.Г. Попов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВОЗДУШНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ СЕРИИ А-3134: ФУНДАМЕНТ РАЗВИТИЯ НАДЁЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ СТРАНЫ

Во втором десятилетии 20 века в советских промышленных установках для защиты от сверхтока и оперативного отключения цепей в основном применялись рубильники и предохранители. В результате конструкторской работы в 30-х годах сотрудникам Харьковского электромеханического завода удалось разработать автоматические выключатели типа А-3134.

Данные аппараты были предназначены на токи до 200 А, напряжение 220 В постоянного тока и до 500 В переменного тока. Выключатели применялись для автоматического отключения электрических цепей при коротких замыканиях и нечастых оперативных коммутаций [1].

Устройство выключателя состояло из пластмассового кожуха, зажимов для крепления, механизма управления, коммутирующего устройства, дугогасительной камеры и расцепителя максимального тока [1].

Применение аппаратов серии А-3100 позволило защитить низковольтные сети от последствий перегрузок и коротких замыканий. Это повысило безопасность использования электрического тока в жилых домах и промышленных предприятиях без угрозы для жизни людей.

Устройства типа А-3134 были одними из первых, которые широко использовались по всей стране в сложный послевоенный период, зарекомендовав себя как надёжный электротехнический прибор.

В дальнейшем было необходимо расширить область применения автоматических выключателей и улучшить характеристики в связи с бурным развитием потребителей электроэнергии. Современной модификацией автоматов является серия А-3700, которая составляет достойную конкуренцию зарубежным аналогам по техническим характеристикам.

На сегодняшний день линия автоматических воздушных выключателей типа А-3134 уже полностью снята с производства. Однако, из-за простоты и неприхотливости обслуживания, такие устройства эксплуатируются на территории РФ и СНГ по сей день.

Литература

1. **Л.И. Мишустина**; Автоматические выключатели серии А3100; М.-Л: «Энергия», 1965 г.

*Д.П. Яковлев, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВКЛАД НПП «ЭКРА» В МОДЕРНИЗАЦИЮ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Чувашия известна энергетикам всей страны как столица релестроения России. НПП «ЭКРА», расположенное в Чувашской Республике, г. Чебоксары, является ведущей компанией по разработке микропроцессорных систем РЗА в России.

История этого предприятия уходит корнями далеко в 1941 год. В 1941 году в Чебоксары был эвакуирован Харьковский электромеханический завод и ленинградский завод «Электрик», так был образован Чебоксарский электроаппаратный завод (ЧЭАЗ). После успешных испытаний релейной защиты высоковольтного оборудования работниками ЧЭАЗ было принято решение о создании научно-исследовательского института, так в 1960 году был создан «Всероссийский научно-исследовательский институт релестроения». И уже в 1991 году команда опытных специалистов основывает новое предприятие — ООО НПП «ЭКРА» [1]. Спустя пару лет молодая компания создает впервые в мировой практике защиту генераторов как малой, так и сверхбольшой мощности. Но на этом развитие предприятия не остановилось, и уже в октябре 1999 года оно разрабатывает первую отечественную микропроцессорную релейную защиту воздушной линии (ВЛ) электропередачи напряжением 220 кВ, которая была введена в эксплуатацию на подстанции «Киндери-500», тем самым НПП «ЭКРА» предложила энергосистемам новую продукцию, не уступающую по техническим возможностям зарубежной. В 2018 году стараниями опытных работников НПП «ЭКРА» была введена в работу первая в Московском регионе цифровая подстанция — ПС 110 кВ «Медведевская». Ключевыми отличиями ее от других подстанции являются: сокращение затрат на обслуживание за счет развитой системы диагностики и выявления неполадок; гибкость системы РЗА; автономность системы [2].

За 30 лет работы Научно-производственное предприятие «ЭКРА» накопила немалый опыт в области РЗА и стала настоящим одним из лучших в этой сфере. Их оборудованием оснащено девять из десяти атомных электростанции в России, а также Армянскую и Белорусскую АЭС, 100 гидроэлектростанций, 238 теплоэлектростанции и многие другие энергообъекты.

Литература

1. **Герасимов Е.** Человек особого сорта // Энергетика и промышленность России, 2020 год № 01-02 (381–382), с. 29.
2. **Гурьев А.В., Мартихин А.Ю., Рыбин И.С.** Первая в Московском регионе // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение 2018 г. № 5 (50), с. 34–38.

Е.Ю. Голохвастов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИСТОРИЧЕСКАЯ РОЛЬ УНИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДК-255А В ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ

Восстановление системы наземного городского транспорта в Москве после победы СССР в Великой Отечественной войне требовало немало усилий со стороны электромашиностроительных предприятий. Лидером по производству электрических машин в данной области в то время являлся столичный завод «Динамо» им. С.М. Кирова. Государство поставило задачу перед предприятием не просто вернуться к довоенному уровню производства, но и увеличить выпуск и качество продукции. Это требовало кардинальных изменений в конструкторском исполнении двигателей.

В 1950 году на заводе «Динамо» была разработана унифицированная серия электрических машин для разных видов городского электротранспорта, которая означала технический переворот в тяговом электромашиностроении. К данной серии относится двигатель ДК-255А. Унификация позволила на 35% снизить трудоемкость механической обработки и почти на столько же — расход металла за счет существенного уменьшения веса машин. Серии машин подобного типа являлись единственными в мире!

Двигатель ДК-255А позволил запустить по послевоенным дорогам страны первые трамваи. Машина является тяговым, коллекторным двигателем постоянного тока. Электродвигатель ДК-255А является быстроходным и устанавливался в вагонах ЛМ-49, которые выпускались в течение 20 лет на Ленинградском вагоноремонтном заводе, а также применялся на более поздней модификации данного вагона, в вагонах ЛМ-57. При массе выгона в 18,5 т. четыре двигателя ДК-255А позволяли трамваю развить максимальную скорость в 65 км/ч.

Одним из важнейших достоинств электродвигателя нового типа является снижение веса в два раза по сравнению с двигателями равной мощности старой конструкции. Это позволило на 6 процентов снизить вес вагона, на 10 процентов уменьшить расход электроэнергии при эксплуатации и в почти в 6 раз увеличить срок службы зубчатых передач.

Электродвигатель ДК-255А выпускался в течение 18 лет и в настоящее время не эксплуатируется.

Литература

1. **Корягина Е.Е.** Электрооборудование трамваев и троллейбусов. Учебник для техникумов городского транспорта. — М.: Транспорт, 1982, 296 с.
2. **Фёдоров Г.В.** Подвижной состав метрополитена: Вагоны типа Д; «Трансжелдориздат», 1957, 252 с.

*Е.Ю. Голохвастов, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ВОТКИНСКАЯ ГЭС — МОЩЬ НА КАМЕ

В декабре 1920 г. VIII Всероссийским Съездом Рабочих и Крестьянских Депутатов был принят план ГОЭЛРО. В связи с этим в 30-е годы был разработан план сооружения каскада ГЭС на реке Кама, как опорного пункта Единой энергосистемы европейской части страны. Каскад должен был состоять из трех гидроэлектростанций: Камской, Воткинской и Нижнекамской.

Начавшаяся Великая Отечественная война прервала электрификацию страны. И только спустя 30 лет в тяжелейших условиях послевоенного времени, когда промышленность нуждалась в обеспечении электроэнергией, вышло распоряжение Совета Министров СССР от 22 марта 1955 года о начале строительства Воткинской ГЭС.

Проектным заданием предусматривалась установленная мощность ГЭС 1000 тыс. кВт. Завершение строительства было запланировано на 1965 год.

Для строительства был построен собственный гравийный завод. Добываемые земснарядом со дна реки песчано-гравелистые массы поступали на переработку. В связи с тем, что бетон изготовляли из местных материалов, он стал одним из самых дешёвых в стране.

Воткинская ГЭС являлась испытательной площадкой, на которой отрабатывались новейшие технологии строительства 60-х годов XX века. Вопреки сложившейся в гидротехнической практике, водосливную плотину впервые решили делать не монолитную, а пустотелую. Это позволило заметно сократить объемы земляных работ.

В 1969 году на Воткинской ГЭС впервые в Советском Союзе для управления работой станции была введена в эксплуатацию управляющая машина УМ1-НХ. По результатам проделанной работы ГЭС была определена головной в союзном министерстве по внедрению автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Вместо двухступенчатого судоходного шлюза было решено построить одноступенчатый. Перепад высот оказался настолько значительным, что судоходный шлюз Воткинского гидроузла гордо носит название самого глубокого в России. Его глубина составляет 26 метров.

В результате внедрения новых методов сооружения стоимость за 1 кВт мощности была снижена более чем в два раза по сравнению с современниками.

Литература

1. Волжско-Камский каскад гидросооружений. — М.: Госэнергоиздат, 1962.
2. **Назаров М.Н.** Это в сердце моем было. Пермь: Агентство «Стиль-МГ», 2003.

*Р.Д. Лизогуб, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

ДАЛЬНИЙ ВОСТОК: ИСТОКИ ЭНЕРГЕТИКИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Дальний Восток — достаточно молодая российская территория, история которой чрезвычайно сильно связана с развитием энергетической мощи нашей страны, поэтому, рассматривая Амурскую область Дальнего Востока, необходимо восстановить контекст её территориального формирования.

Уже в конце XIX столетия, 130 лет назад, было положено начало сооружению Великого Сибирского пути (ныне Транссиб). Это самая большая железная дорога на планете, она смогла превзойти даже Трансконтинентальную железную дорогу США.

Первые железные дороги начали строить ещё в сороковые годы при Николае I. И к началу XX века был накоплен колоссальный багаж профессиональных знаний и незаурядных решений, которые позволили осуществить задуманные планы и соединить две части Российской империи: западную и восточную. В 1890-х годах количество импортных паровозов уменьшилось, потому что в стране увеличилось число паровозостроительных заводов [1]. Выдающийся русский инженер Ю.В. Ломоносов, конструктор первых тепловозов, произвел стандартизацию серий русских паровозов. Накануне Первой мировой войны Я.М. Гаккель предложил проект тепловоза с электрической передачей, однако война и революция помешали реализации этой идеи. Но в 1924 году он создает проект тепловоза с электрической передачей: дизель вращает генератор, подающий ток для питания электродвигателей, собственно вращающих колеса. Такие тепловозы стали внедрять в 1930-х годах.

Дальневосточная часть железной дороги стала модернизироваться лишь в послевоенное время, как и территории на Урале и в Сибири. В 1967 году паровозная тяга была переведена на тепловозную, а в 1970 году началась электрификация Транссиба на Забайкальской железной дороге (утверждено техническое задание на проектирование электрификации участка Петровский Завод — Карымская в 1964 году) [2]. Первая ГЭС Амурской области (Зейская) также была построена в семидесятые. Полная электрификация Транссиба завершилась в 2002 году.

Литература

1. **С.Ю. Витте.** Воспоминания в трех томах. ХАРВЕСТ. 2017.
2. **А.И. Довгялло.** Высокое напряжение. Электрификация Забайкальский железной дороги 1971–1994 годы. Издатель: Забайкальская железная дорога. 1995, 259 с.

Е.Е. Пашковская, В.В. Самойлов, А.Э. Мельничук, Р.В. Лебедев, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)

ИСТОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС

В начале XX века был замечен энергетический потенциал реки Волги в районе Самарской луки. Инженер К. В. Богдавленский провел технико-экономическое обоснование строительства двух гидроэлектростанций, положив в основе идею естественного перепада уровней воды двух рек в районе Переволок. Однако только после революции создается “Комиссия по электрификации Волги в районе Самарской Луки”, позже преобразованная в областное специальное бюро “Волгострой”. Уже в 1930 году постановлением ЦК ВКП бюро переводят на центральный бюджет и включают в проект реконструкции реки “Большая Волга”. [1]

10 августа 1937 года утверждают строительство двух предполагаемых ГЭС в районе изысканий “Гидротехгеоинститута”, проведенных в 1930 году. Для начала строительства подпорной платины в районе деревни Красная Глинка создается Самарский исправительно-трудовой лагерь, заключенные которого ведут подготовительные работы.

Уже после войны в 1949 году работы стремительно возобновляются. Приходится перенести место строительства выше по реке, так как старое было непригодно в силу многих факторов. 21 августа 1950 года обнародовано постановление правительства «О строительстве Куйбышевской гидроэлектростанции на реке Волга». Сразу после публикации было создано специально управление “Куйбешевгидрострой”, которое подчинялось непосредственно МВД СССР. Руководителем управления был назначен И. В. Комзин.

Для выполнения огромного объема работ формируется Кунеевский исправительно-трудовой лагерь в деревне Ставрополь (сегодня город Тольятти), который будет являться одним из крупнейших трудовых лагерей СССР. Под управлением “Куйбешевгидростроя” строительство ведется быстро, хотя ценой этого было большое количество травм, летальных случаев и производственных нарушений. [2]

29 декабря 1955 года станция впервые выдает мощность в энергосистему, а 1957 вводится в работу последний из 20 агрегатов.

Литература

1. **Е.А. Бурдин.** Исторические аспекты и динамика развития российской гидроэнергетики в 1900–1980-х гг. (На примере волжского каскада гидроузлов), 2010.
2. **А.А. Романов.** Куйбышевский гидроузел. История и жизнь. Изд-во «Самара: Арт-Лайт», 2018.

*Д.А. Волохо, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

КАТУШКА РУМКОРФА — ИЗОБРЕТЕНИЕ, ПОРОДИВШЕЕ РАДИО

В начале XIX века, с открытием закона электромагнитной индукции, ученые начинают создавать приборы для получения высоких значений напряжений переменного тока. К тридцатым годам появляются рабочие индукционные машины или «катушки» (по сути дела, являлись трансформаторами высокого напряжения), производящие импульсы высокого напряжения.

Первыми такими машинами были генераторы И. Пиксии, Б. Якоби, Д. Генри. В 1837 году французский профессор Антуан Массон создал свою индукционную машину, которую использовал для медицинских целей. Машина Массона явилась прототипом для индукционной катушки Румкорфа.

В 1852 году Генрих Румкорф сконструировал катушку с двумя обмотками (первичная — с небольшим числом витков и толстым проводом, вторичная, наоборот — с тонким проводом и большим числом витков) и прерывателем. [1] В такой катушке, во вторичной обмотке наводилось напряжение большого значения. Это изобретение получило имя своего создателя.

Катушка Румкорфа применялась при проведении опытов, а в последствии стала неотъемлемой частью рентгеновских аппаратов и радиосистем (А.С. Попов использовал катушку в качестве излучателя для первого радио). [2]

Индукционная катушка Румкорфа почти без изменений дошла и до наших дней. Наибольшие изменения коснулись конструкции прерывателей тока, позволяющие получать большую частоту прерывания. В настоящее время она (катушка) применяется для демонстрации электромагнитной индукции в кабинетах физики, а её принцип действия используют в двигателях внутреннего сгорания и зуммерах (сигнальных устройствах).

Литература

1. **Румкорф Генрих Даниэль** // Большой Энциклопедический словарь. — 2000. Большой Энциклопедический словарь. 2000. Словари и энциклопедии на Академике.
2. Изобретение радио А.С. Поповым. Сборник документов и материалов. Вып. 2 / Под ред. А.И. Берга. — М. — Л.: Издательство АН СССР, 1945.

К.Р. Зантария, студ.;
рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», г. Москва)

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА АБХАЗИИ И СУХУМСКАЯ ГЭС

В 1922 году был найден створ реки Гумиста, где благодаря разнице потенциалов высот рек Восточная и Западная Гумиста появилась возможность построить гидростанцию с напором 240 м, однако, из-за отсутствия большой потребности в электроэнергии, данный проект был отклонен. Вернулись к нему лишь в 1934 году. Строительство станции длилось с 1934 по 1949 год и приостанавливалось во время великой отечественной войны. С 1949 по 1992 года станция работала в штатном режиме, снабжая электроэнергией весь Сухумский район.

В 1992 году в связи с началом грузино-абхазского конфликта, станция была заброшена. Военные действия велись даже на территории гидростанции, что не позволяло продолжать её эксплуатацию. С 1993 по 2012 года в связи с наступлением послевоенного экономического кризиса, средств на восстановление станции не было, в связи с чем 20 лет подряд разрушалась. Изменения произошли в 2012 году. Заслуженным инженером-энергетиком России и Абхазии Зантария Резо Платоновичем был предложен проект по восстановлению разрушенной ГЭС. Основной проблемой в реализации данного проекта был дефицит государственного бюджета. Выход из сложившейся ситуации был найден, за счёт привлечения внешних инвестиции. После продолжительного периода реставрации, в 2018 году Сухумская ГЭС, спустя 26 лет простоя, вновь была введена в эксплуатацию. Сухум ГЭС соединилась с энергосистемой Абхазии. На сегодняшний день, ГЭС обладает следующими параметрами:

- Установленная мощность — 21 МВт.
- Количество гидроагрегатов — 3.
- Напор расчетный — 240 м.
- Годовая выработка проектная — 120 млн. кВтч.
- Частота вращения турбины — 750 об/мин.
- Номинальная мощность турбины при напоре 215 м — 6314 кВт.

Литература

1. <http://7750353.myjino.ru> сайт об истории строительства и о технических характеристиках Сухумской ГЭС.

Секция 55
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
Electric power stations

Председатель секции: к.т.н., доцент Гусев Юрий Павлович

Секретарь секции: Тимофеев Александр Андреевич

*И.С. Вандтке, И.А. Неклюдов, Е.С. Приходько, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ ДОПУСТИМОГО ТОКА ДЛЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

При выборе сечений кабельных линий (КЛ) необходимо проводить проверку на термическую стойкость. Целью исследования является определение значения термически допустимого тока жилы для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Зная ток, можно унифицировать как сечение, так и уставки релейной защиты (РЗ), что позволит повысить качество проектных решений, например, даст возможность не использовать токоограничивающий реактор (ТОР) для обеспечения термической стойкости КЛ.

Определение термически допустимого тока кабелей с СПЭ изоляцией производилось на основании ГОСТ 28895-91 [1]. Исследование было проведено для кабеля с СПЭ изоляцией с алюминиевой токоведущей жилой сечением от 50 до 240 мм². При расчетах использовались следующие параметры КЛ: $\theta_i = 15$ °С, $\theta_f = 350$ °С, $k = 148$ А·с^{0,5}/мм², $\beta = 228$ К, где: θ_i — исходная температура (°С), θ_f — конечная температура (°С), k — постоянная, зависящая от материала токопроводящего элемента (А·с^{0,5}/мм²), β — величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0 °С (К).

Время воздействия тока короткого замыкания (КЗ) на КЛ было принято согласно действующим уставкам РЗ на центрах питания распределительных пунктов (РП) 10 кВ. Изменяя значения площади поперечного сечения токоведущей жилы, были получены значения тока термической стойкости. При сечении жилы кабеля с СПЭ изоляцией, равном 50 мм², термически допустимый ток составил 4,27 кА. С последующим увеличением сечения термический допустимый ток возрастает и достигает значения 20,51 кА при сечении, равном 240 мм².

Основываясь на полученных значениях, можно утверждать, что с увеличением площади токоведущей жилы СПЭ кабеля термически допустимый ток также увеличивается. Кроме этого, учёт неадиабатического характера нагрева кабеля даёт возможность снизить термически стойкое сечение кабеля. Таким образом, учёт ГОСТа 28895-91 позволяет выбрать термически стойкое сечение жилы кабеля с СПЭ изоляцией без избыточных запасов по сечению.

Литература

1. **ГОСТ 28895-91.** Расчёт термически допустимых токов короткого замыкания с учётом неадиабатического нагрева. — Москва: ИПК издательство стандартов. — Текст: непосредственный.

*В.Д. Битней, В.А. Остроушко, студенты; А.В. Охлопков, асп.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ В ЧАСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

В связи с отсутствием достаточного количества устройств по компенсации реактивной мощности в энергосистеме города Москвы турбогенераторы ПАО «Мосэнерго» работают в пограничных значениях выработки/потребления реактивной мощности, что негативно сказывается на состоянии генерирующего оборудования и сокращает срок его службы. Довольно часто происходят аварии, связанные с продолжительной работой турбогенератора в режиме малых уровней возбуждения, что является необходимым условием для потребления реактивной мощности [1].

Целью исследования являлся анализ опыта эксплуатации турбогенераторов в режимах выдачи и потребления реактивной мощности.

Систематическая работа в режиме потребления реактивной мощности приводит к деградации и разрушению торцевых зон сердечника турбогенераторов, что в практике эксплуатации неоднократно приводило к аварийным отключениям вследствие прорезания изоляции обмотки статора обломившимися фрагментами листов активной стали [2].

Так как запросы по корректировкам в АО «СО ЕЭС» Московское РДУ базовых регулировочных диапазонов генераторов по реактивной мощности на основании заводских диаграмм мощности и проводимых испытаний не регулируются действующими нормативными документами в энергетике, то для предотвращения ухудшения технического состояния основного электротехнического оборудования электростанций компании ПАО «Мосэнерго» необходимо, чтобы АО «СО ЕЭС» имело возможность принять к руководству данные тепловых испытаний генераторов на месте установки, что подразумевает изменение существующего порядка регистрации вновь вводимого генерирующего оборудования для работы на оптовом рынке.

Литература

1. Зеленохат Н.И., Коротченко В.В. Повышение эффективности управления возбуждением турбогенератора при потреблении реактивной мощности // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2007. № 5–6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-upravleniya-vozbuzhdeniem-turbogeneratora-pri-potreblenii-reaktivnoy-moschnosti> (дата обращения: 27.10.2021).
2. Повреждаемость и контроль зубцовых зон запеченных крайних пакетов стали сердечников статоров турбогенераторов / А.В. Бутов [и др.] // Электрические станции. 2001. № 5. С. 41–48.

*А.А. Тимофеев, А.Г. Кощева, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ШУНТИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ТОКИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ СВЫШЕ 1000 В

При междуфазных коротких замыканиях (КЗ) на головных участках кабельных линий 6(10) кВ, отходящих от генераторного распределительного устройства тепловой электростанции (ГРУ ТЭЦ), часто наблюдается снижение чувствительности релейных защит. Одна из возможных причин возникающей проблемы — шунтирующий эффект (ШЭ) от асинхронных двигателей (АД), гальванически связанных с местом КЗ [1].

В данной работе рассмотрено влияние ШЭ АД при КЗ в электроустановках напряжением 6(10) кВ, и что указанная проблема может быть актуальной не только в сети 0,4 кВ.

Целью исследования является анализ влияния ШЭ АД при КЗ на чувствительность релейных защит отходящих присоединений 6(10) кВ.

Задачей исследования является разработка математической модели для учета ШЭ АД при КЗ в электроустановках свыше 1000 В. На разработанной модели необходимо определить критерии (границы) возникновения ШЭ АД в электроустановках свыше 1000 В. Для выполнения перечисленных задач на основании [2] в программном комплексе Mathcad была разработана математическая модель для учета ШЭ АД, при КЗ в электроустановках свыше 1000 В.

Результаты расчетов ШЭ на фидере нагрузки показывают, что ток КЗ снижается в зависимости от мощности АД и электрической удаленности КЗ на 3–22% от уровня тока КЗ без ШЭ АД, что приводит к снижению чувствительности основных и резервных защит фидеров нагрузки.

При анализе учета ШЭ АД в сети 6(10) кВ ГРУ ТЭЦ, были определены критерии (границы) возникновения ШЭ: $Z \geq 0.15 \text{ Ом}$ и $U_{\text{ост}} \geq 0.3U_{\text{ном}}$. Учет влияния ШЭ АД при междуфазных КЗ в электроустановках напряжением 6(10) кВ позволит повысить точность оценки чувствительности релейных защит отходящих присоединений.

Литература

1. **Гусев, Ю.П.** Снижение чувствительности защитных аппаратов в низковольтных электроустановках из-за шунтирующего эффекта асинхронных двигателей / Ю.П. Гусев, Г.Ч. Чо — Текст: непосредственный // Вестник МЭИ, № 6, 2003, с. 131–135.
2. **ГОСТ Р 52735-2007.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. — Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. 39 с. — Текст: непосредственный.

*В.А. Остроушко, В.Д. Битней, студенты;
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМУФТЫ НА ТЭЦ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ОТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ К НАСОСУ ПО СРАВНЕНИЮ С ЧРП

Одним из приоритетов энергетической стратегии России на современном этапе является повышение КПД при генерации электроэнергии, за счет сокращения расхода на собственные нужды путем применения регулируемого привода [1].

В мировой энергетике для решения этой задачи применяются частотно-регулируемые приводы (ЧРП) и гидродинамические методы регулирования (гидромуфты), причем последние особенно характерны для приводов электродвигателей большой мощности. У каждого из этих способов регулирования есть как плюсы, так и минусы. Гидромуфты за все время своего существования зарекомендовали себя как надежные, простые в эксплуатации и легко обслуживаемые собственными силами устройства.

Их принцип работы заключается в передаче энергии за счет циркуляции масла между рабочим и турбинным колесами, где всегда имеется некоторое скольжение, причём гидромуфты проектируются таким образом, чтобы при передаче номинального момента оно не превышало 3%. Объем масла, находящийся в рабочем отсеке, определяет коэффициент передачи крутящего момента гидромуфты. Для регулирования передачи крутящего момента ниже номинального, применяется частичное заполнение рабочей камеры маслом с одновременным увеличением скольжения и уменьшением коэффициента передачи момента самой гидромуфты.

Целью исследования является сравнение эффективности регулирования производительности привода при использовании гидромуфты или ЧРП на примере насоса в составе системы собственных нужд ТЭЦ.

Проведенный анализ литературы показал, что использование гидромуфты, несмотря на худшие показатели КПД в сравнении с ЧРП, позволяет повысить надежность работы привода.

В дальнейших исследованиях будут разработаны математические модели для расчета потерь в гидромуфте при различных нагрузках, что позволит точнее оценить эффективность применения такого решения в составе собственных нужд ТЭЦ.

Литература

1. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций / В.И. Ситас [и др.] // Электрические станции. — 2003. — № 2. — С. 61–65. URL: https://www.studmed.ru/elektricheskie-stancii-2003-02_3e256ec4bc0.html (дата обращения: 29.10.2021).

*Д.С. Доброхотов, студент;
рук. А.В. Трофимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ОБМЕНА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

В настоящее время реализация систем автоматизации электроустановок преимущественно ведется с использованием технологий цифровых подстанций. Данные технологии относительно новые и углубляются в ходе развития программно-технических комплексов. С целью разработки методических материалов для изучения данного вопроса был создан стенд информационного обмена по МЭК-61850. Стенд представляет собой комплекс, состоящий из контроллера присоединения DER «A9E4» и 38 модулей «depRTU-LT-F-32RAM».

Потери данных в автоматизированной системе управления технологическими процессами могут повлечь за собой большие издержки, вследствие этого к локальной вычислительной сети выдвигают все большие требования к надежности [1].

Было произведено конфигурирование модулей и контроллера для обмена по протоколу MMS (Manufacturing Message Specification) — протокол передачи данных по технологии «клиент-сервер». Модули выступали в качестве МЭК-сервера, а контроллер в качестве МЭК-клиента.

Для обеспечения надежности в цифровом обмене используется протокол резервирования HSR. HSR позволяет обойтись самими устройствами, без большого числа коммутаторов, собрав схему по принципу «кольцо».

Для проверки работоспособности стенда были произведены штормовые испытания. На модуль №1 подавалась команда телеуправления, которая замыкала выключатель на модуле, тот, в свою очередь, выставлял специальную тестовую заглушку на контактах входных дискретов в положение «1». Один из входных контактов на модуле №1 являлся дискретом телеуправления для модуля № 2, на котором алгоритм повторялся и т.д. Данная команда телеуправления подавалась автоматически каждые 2 секунды. Для проверки непрерывности приема данных использовалась архивная информация от контроллера «A9E4» за 24 часа штормовых испытаний.

Литература

1. **Трофимов, А.В.** Основы организации микропроцессорных автоматизированных систем управления технологическими процессами электроустановок: учебное пособие / А.В. Трофимов, А.М. Поляков; — Москва : МЭИ, 2015. 128 с. — Тест: непосредственный.

*И.А. Неклюдов, Е.С. Приходько, И.С. Вандтке, студ.;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ ТОКА КЗ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В настоящее время одним из условий проверки электрического оборудования при проектировании теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) является расчет периодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ) [1].

В момент отключения КЗ периодическая составляющая тока будет значительно меньше, чем в начальный момент [2]. В данной работе в программном комплексе GuPlanАС, позволяющем рассчитывать токи КЗ в электроустановках, было проведено исследование значения тока КЗ на момент срабатывания устройств релейной защиты и автоматики. Расчетная схема, смоделированная для расчета токов КЗ на собственных нуждах 0,4 кВ, и результаты эксперимента приведены на рис. 1.

По результатам расчета можно увидеть, что затухание периодической составляющей тока составляет 81,55%. Учет затухания тока КЗ при выборе оборудования ТЭЦ позволяет применять оборудование с меньшими токами отключения.

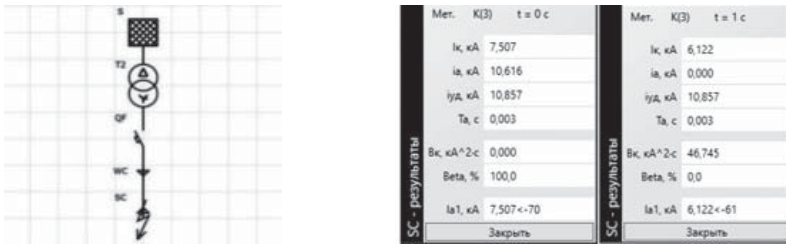


Рис. 1. Расчетная схема и результаты исследования

Литература

1. Балаков, Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов по всем специальностям направления «Электроэнергетика» / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. — 3-е изд., стер. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 288 с. — ISBN 978-5-383-00401-2.
2. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов по специальностям «Электрические станции», «Электроснабжение» направления «Электроэнергетика» / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.В. Пиратов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. — 416 с. — ISBN 978-5-383-00214-8.

Т.А. Рябикова, студ.;
рук. М.С. Иваницкий, д.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Волжском)

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время в Волгоградском регионе, как и во всем мире происходит развитие солнечной энергетики, что обусловлено рядом причин: ухудшением экологического состояния, значительным ежегодным износом производственного оборудования, электро — и теплосетей, требующим колоссальных вложений на ремонт и модернизацию и сокращением запасов органического сырья.

Так, в Волгоградском регионе по состоянию на 29.10.2021 года разработан Проект Закона Волгоградской области «О стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2030 года», согласно которому предлагается программа по «Созданию и реконструкции объектов электроснабжения», а именно увеличение производства электроэнергии из возобновляемых источников энергии, в том числе планируется строительство солнечных электростанций на территории Волгоградской области общей мощностью до 100 МВт до конца 2024 года за счет частных инвесторов — ведущих компаний в сфере солнечной энергетики России: «Солар-Системс» и «Грин Энерджи Рус».

В настоящее время на территории Волгоградской области построены и введены в эксплуатацию 6 солнечных электростанций (СЭС), общая мощность которых составляет 175 МВт, в процессе строительства находится Красноармейская СЭС мощностью 20 МВт. Данные проекты были реализованы по программе развития электроэнергетики Волгоградской области на 2020–2024 годы. Помимо представленных выше крупных проектов развития солнечной энергетики, в Волгоградском регионе возможно развитие и небольших СЭС [1].

Автором была разработана схема СЭС мощностью 38 кВт в составе микрогенерирующего энергокомплекса для обеспечения потребностей в энергетических ресурсах филиала МЭИ в г. Волжском. Расчетами установлено, что проектируемая СЭС обеспечит собственные нужды института и позволит определить организационно-технологические и правовые подходы к розничному отпуску электрической энергии в сеть.

Литература

1. **Рябикова, Т.А.** Анализ потерь при выработке электроэнергии на солнечной электростанции [Текст] / Т.А. Рябикова // Сборник статей XX научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ВПИ (филиал) ВолгГТУ. — Волгоград, 2021. — С. 271–274.

*Д.В. Рыжков, К.А. Федорищева, студенты;
рук. А.М. Поляков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ШЕСТИФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

При проектировании современных объектов электроэнергетики и их эксплуатации все чаще прибегают к математическому моделированию энергетического объекта в программных комплексах (ПК). Задачами математического моделирования являются разработка и проверка проектных решений, подготовка персонала с помощью тренажеров.

В российской энергетике стали внедряться энергоблоки мощностью более 1000 МВт с шестифазными генераторами. В силу узкой направленности применения данных машин в большинстве даже зарубежных программных комплексах модель шестифазного генератора до сих пор не входит в состав стандартных библиотек. Соответственно, существуют очевидные запросы на разработку такой модели именно в отечественном программном комплексе.

Выбранный ПК-SimInTech — перспективный отечественный программный комплекс, предназначенный для моделирования технических систем, который может использоваться вместо иностранных, что имеет несомненные достоинства в условиях политики импортозамещения. Для поддержания его в актуальном состоянии необходимо пополнять библиотеку элементов моделями современного электрооборудования.

Для решения данных задач были разработаны модели шестифазного генератора на основе системы дифференциальных уравнений Парка-Горева [1, 2] для расчета в мгновенных значениях и для расчета в действующих значениях. Первая позволяет более подробно анализировать электромагнитные процессы в цепи генератора и электромеханические процессы незначительной продолжительностью. Вторая подходит для анализа режимов работы энергоблока с частью прилегающей сети, а также для тренажеров. Модели позволили смоделировать типовой блок и исследовать переходные процессы при коротких замыканиях и отключениях генераторных выключателей.

Литература

1. **Гришин Н.В.** Уравнения режимных задач шестифазных турбогенераторов предельной мощности. // НТВ СПбГПУ. 2016. № 2 (243). С. 16–23. DOI 10.5862/JEST.243.2
2. **Arif Iqbal, G.K. Singh and Vinay Pant** Steady-state modeling and analysis of six-phase synchronous motor // Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal, 2014, Vol. 2, 236–249, DOI 10.1080/21642583.2014.895970

*А.З. Исеев, Н.В. Деревнин, студенты;
рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТДАЛЕННЫХ И ИЗОЛИРОВАННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ

Одним из перспективных направлений для развития энергетики является применение распределенной генерации энергии (РГЭ). РГЭ — это производство энергии на уровне распределительной сети или на стороне потребителя, включенного в сеть. Для этого необходимо множество потребителей, которые производят электрическую энергию для собственных нужд, направляя их излишки в общую сеть. Таким образом можно снизить потери на передачу электрической энергии.

В России, в связи с территориальными особенностями и благодаря развитию технологий, в особенности маломощных генерирующих установок, например, газотурбинных установок (ГТУ) и газопоршневых установок (ГПУ), а также активное внедрение разработок, в области использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), применение РГЭ открывает новые возможности для отдаленных и изолированных регионов [1]. Использование РГЭ создает ряд проблем для диспетчерского управления, для решения этой проблемы используются виртуальные электростанции — структуры, для управления и поддержания единого режима работы энергосистемы на базе РГЭ, объединяющая в себе распределенные генераторы (ветроустановки, фотоэлектрические станции, мини — и микроТЭЦ и др.), активных потребителей (бытовых, промышленных) и системы аккумулирования энергии (тепловые, электрические, механические и химические). Характерной особенностью такой энергосистемы является возможность работы в автономном режиме.

Целью работы является составление математической модели малой изолированной энергосистемы на базе РГЭ, в которую будут включены несколько населенных пунктов, получающих энергию от ветрогенераторов и ГТУ, расположенных в этих населенных пунктах, имеющий общий накопитель электрической энергии и связанных между собой, это позволит спрогнозировать переходные процессы, возникающие в ходе эксплуатации.

Литература

1. Институт энергетической стратегии: [сайт]. — Москва, 2001. — URL: <http://www.energystrategy.ru> (дата обращения 03.11.2021). — Текст: электронный.

*А.Г. Кощева, Г.К. Морозенко, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОДСТАНЦИИ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ВЭС И СЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Ветряные электростанции (ВЭС) и солнечные электростанции (СЭС) номинальной мощностью 10–100 МВт выдают мощность в энергосистему в основном на уровне напряжения 35–110 кВ через подстанцию выдачи мощности (ПВМ). С целью снижения капитальных вложений на сооружение ВЭС (СЭС) применяются технические решения, упрощающие схемы электрических соединений электростанций данного типа. В данной работе рассмотрены три подхода к выбору количества и мощности трансформаторов ПВМ ВЭС (СЭС) [1]:

Вариант № 1 — два трансформатора с взаимным резервированием отказов;

Вариант № 2 — два трансформатора без резервирования отказов;

Вариант № 3 — один трансформатор без резервирования отказов.

Целью исследования является технико-экономическое обоснование структурной схемы ПВМ ВЭС (СЭС).

Вариант №1 применяется для традиционных тепловых электростанций с непрерывной выдачей электроэнергии, использовался в первых проектах ВЭС и СЭС. Отказ одного из трансформаторов ПВМ не приводит к ограничению выдачи мощности ВЭС (СЭС). Вариант № 2 предусматривает выдачу каждым из двух трансформаторов половины номинальной мощности ВЭС (СЭС), отказ одного трансформатора ПВМ приводит к снижению выдачи мощности ВЭС (СЭС) в 2 раза. Вариант № 3 предусматривает выдачу мощности через единственный трансформатор, отказ которого приводит к отключению ВЭС (СЭС).

Для ВЭС мощностью 60 МВт с номинальным коэффициентом мощности 0,9 по Варианту №1 требуется установить 2 трансформатора по 63 МВА, по Варианту № 2 — 2 трансформатора по 40 МВА, по Варианту № 3 — 1 трансформатор мощностью 63 МВА

В результате сравнения затрат структурных схем ПВМ наиболее экономичным является Вариант № 3, который дешевле по затратам Варианта № 1 в 1,7 раза и Варианта № 2 в 1,4 раза. Стоит отметить, что по Варианту ПВМ № 3 в настоящее время проектируются ряд ВЭС и СЭС на территории России.

Литература

1. **СТО 56947007-29.240.10.248-2017.** Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС). — Москва: АО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2017. — 135 с. — Текст: непосредственный.

А.А. Красилов, студ.; рук. Г.Ч. Чо, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗАДЕРЖКА ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЧЕРЕЗ НУЛЕВОЕ ЗНАЧЕНИЕ В ЦЕПИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

В настоящее время во всем мире активно развивается ветроэнергетика. Для надежной эксплуатации ветроэнергетических установок (ВЭУ) важен правильный выбор электротехнического оборудования. Неучет особенностей ветрогенераторов на основе машин двойного питания может приводить к отказам выключателей при отключении коротких замыканий (КЗ) во внутренней сети ветроэлектростанции из-за задержки прохождения отключаемого тока через нулевое значение.

Анализ токов КЗ от асинхронного генератора двойного питания (DFIG) произведен в программном комплексе EMTP-RV. Модель DFIG включает в себя модуль ветротурбины, преобразователя в цепи роторной обмотки, системы управления, повышающего трансформатора ВЭУ и ветрогенератора. Металлическое КЗ моделировалось двумя идеальными ключами. Шунтирующие сопротивления, соединенные в звезду, подключены параллельно преобразователю для защиты изоляции роторной обмотки от перенапряжений.

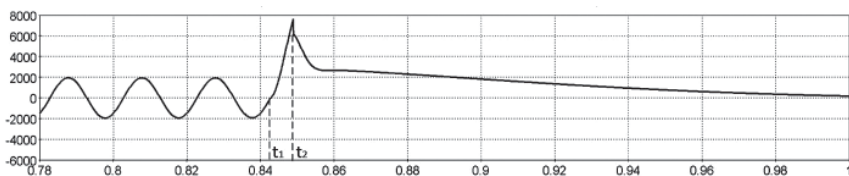


Рис. 1. Изменение тока КЗ от машины двойного питания во времени
 t_1 — момент КЗ, t_2 — момент включения шунтирующего сопротивления

В ходе исследования варьировались напряжения срабатывания шунтирующего сопротивления в диапазоне от 1,1 до 1,5 о.е. Установлено, что при напряжении срабатывания 1,15 о.е. продолжительность задержки прохождения тока через нулевое значение составляет 100 мс, см. рис. 1. Задержка превышает полное время срабатывания вакуумного выключателя, что может являться причиной отказа дугогасительной камеры, вследствие сверхнормативного термического воздействия дуги [1].

Исходя из проведенного анализа следует сделать вывод, что при выборе выключателя, устанавливаемого в коллекторной цепи DFIG, следует учитывать время задержки прохождения тока КЗ через нулевое значение.

Литература

1. **Чо, Г.Ч.** Расширение области применения вакуумных выключателей на генераторы мощность до 400 МВт / Г.Ч. Чо, Ю.П. Гусев // Теплоэнергетика. — 2017. — № 4. — С. 34–42.

*Л.Е. Кошманов, Е.И. Архипова, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ МЭИ)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРИДА (ОСТРОВНОЙ РЕЖИМ)

На данный момент проблема надежного и качественного электроснабжения потребителей, рассредоточенных по огромной территории России, в отдельных ее районах, остается нерешенной. Обеспечение таких потребителей электроэнергией на сегодняшний день осуществляется за счет централизованного электроснабжения или за счет применения распределенной генерации в островном режиме.

Большинство источников автономного электроснабжения являются дорогостоящими. Так, в России электрообеспечение малонаселенных и удаленных поселений осуществляется с помощью гибридной энергосистемы — комбинированных ветро-дизельных комплексов, причем системообразующим устройством служит дизельная электростанция (ДЭС), его мощность определяется из графика нагрузки объекта, который, как правило, характеризуется крайней неравномерностью, что приводит к существенному недоиспользованию установленной мощности оборудования. Поэтому, чтобы повысить эффективность работы ветроустановок, требуется установка накопителя электроэнергии.

Целью исследования является определение основных технических ограничений при проектировании микрогридов в условиях островного режима. Основные факторы, требующие рассмотрения в условиях обеспечения электроснабжения от ДЭС и ветроэлектростанции (ВЭС): определение оптимальной емкости накопителя, определение соотношения мощности ДЭС/ВЭС, обеспечение чувствительности и селективности релейных защит при нестабильной выработке ВЭС, оценка статической и динамической устойчивости генерации в островном режиме.

Подобный факторный анализ с учетом электромагнитных и электромеханических переходных процессов возможен при разработке расчетных моделей микрогридов в программных комплексах, например NEPLAN, ETAP или SINCAL.

Проведение факторного анализа, позволит выбрать оптимальные проектные решения для обеспечения надежного электроснабжения потребителей в условиях островного режима. Так же, проводимое исследование позволит ввести технические ограничения при проектировании, отсутствующие на данный момент.

Литература

1. **Лекции.Орг: сайт.** — Москва, 2016 — URL: <https://lektsii.org/5-67377.html> (дата обращения: 09.10.2021) — Текст: электронный.

*А.Э. Мельничук, Р.В. Лебедев, студенты;
рук. А.Д. Лхамдондог (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГАСИТЕЛЕЙ ПУСКОВЫХ ТОКОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В электрических сетях напряжением от 1 до 10 кВ наблюдается неоправданное увеличение потерь электроэнергии. Одной из причин являются пусковые токи трансформаторов. К примеру, во время переходного процесса при включении трансформатора возникают броски намагничивающих токов, амплитуда которых превышает номинальное значение в несколько раз. При самых неблагоприятных случаях амплитуда тока первичной обмотки — трансформатора при включении приводит к потерям и снижению качества электроэнергии. Целью работы является определение наиболее эффективного метода снижения негативных последствий, вызванных пусковыми токами, на трансформаторных подстанциях напряжением от 1 до 10 кВ.

Одним из решений данной проблемы является использование гасителей пусковых токов, работающих на основе термисторов [1], позволяющих снизить кратность пусковых токов в силовых трансформаторах и потери электроэнергии в электроустановках. Установка предполагается со стороны высшей обмотки за трансформатором.

Помимо гасителей пусковых токов, существуют иные решения:

1. На этапе конструирования — уменьшение индуктивности трансформаторов. Однако это ведет к увеличению потерь в обмотках трансформатора, массы и габаритов;
2. Подключение трансформатора к сети электропитания в момент, когда напряжение сети имеет максимальное значение. Данный метод усложнит общую схему.

В результате исследования было определено, что применение гасителей пусковых токов на предприятиях и подстанциях в сетях напряжением от 1 до 10 кВ наиболее эффективно. Предлагаемое устройство поможет снизить негативные последствия при включении силовых трансформаторов в электрических сетях.

Литература

1. GOST P 52719-2007. "Power transformers. General specifications".

А.В. Охлопков, асп.; В.Д. Битней, студ.;
рук. К.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ПАО «МОСЭНЕРГО»

В ПАО «Мосэнерго» проводится постоянная работа по повышению надёжности работы тепловых электростанций (ТЭЦ), оптимизации и совершенствованию систем электроснабжения потребителей от шин распределительных устройств, систем оперативного постоянного тока (СОПТ), систем питания собственных нужд электростанций и т.д. Для достижения перечисленных задач была утверждена масштабная программа технического перевооружения с заменой щитов постоянного тока и аккумуляторных батарей на филиалах компании.

Целью исследования являлся анализ модернизации СОПТ на ТЭЦ ПАО «Мосэнерго».

Ключевым и наиболее инновационным из объема модернизации оборудования на электростанциях стало внедрение системы локализации замыканий на землю выбранных присоединений. В каждом из них после защитного аппарата устанавливаются переключатели, не имеющие бестоковой паузы, для возможности переключения потребителей с поврежденной изоляцией на сторонний источник постоянного напряжения 220 В с DC/DC-преобразователями (гальваническая развязка). Данное решение позволило выделить на изолированную работу отдельного потребителя, в цепях которого обнаружено замыкание на землю, (при невозможности быстрого его отключения с целью устранения замыкания), а также при неисправности или отсутствии автоматических систем поиска замыканий на землю, уйти от практики поиска фидеров с пониженной изоляцией путём поочерёдного снятия питания со всех вторичных устройств (ведущего к перезагрузке микропроцессорных-терминалов и выводу их из работы на время от десятка секунд до нескольких минут).

Устанавливаемые с 2018 года в ПАО «Мосэнерго» системы локализации замыканий на землю выбранных присоединений не имеют аналогов в других генерирующих компаниях России. Внедрение новых СОПТ с современными стационарными и переносными системами поиска мест замыкания на землю без отключения электроприемников, а также системами локализации потребителей с поврежденной изоляцией положительно сказывается на работе самих СОПТ и обслуживающего их персонала и снижает показатели аварийности оборудования филиалов.

Литература

1. **СТО 56947007-29.120.40.041-2010** Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования — дата введения 2010-03-29 — URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.40.041-2010_izm3.pdf (дата обращения: 01.11.2021).

В.С. Дубовик, аспирант; рук. С.Ю. Чечихин, асп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ БЕЗОПАСНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Повышение уровня автоматизации и цифровизации объектов электроэнергетики выводит на передний план новую проблему — обеспечение информационной безопасности. С учетом требований проекта «Цифровая энергетика» на реконструируемых и новых энергообъектах необходимо обеспечить защиту от совершенно новой, для энергетической отрасли, угрозы — кибератак.

В данном проекте, с целью проведения опытов по защите передаваемых данных, в соответствии с современными стандартами [1], будет спроектирована цифровая подстанция (ЦПС). В состав работы входит полностью разработанный проект ЦПС III типа архитектуры, на примере которой рассмотрены вопросы обеспечения безопасности передаваемых данных. В ходе работы проанализированы функции существующих средств защиты информации (СЗИ), разработана модель угроз для различных объектов критической информационной инфраструктуры, входящей в состав рассматриваемой ЦПС, рассмотрены различные типы нарушителей и их особенности, а также проведен ряд опытов по определению достаточности установленных СЗИ для обеспечения безопасности передаваемых данных.

Выводы, сделанные на основе полученных в ходе данной работы результатов, могут быть полезны для проведения анализа слабых мест различных объектов критической информационной инфраструктуры, с целью успешного ввода и дальнейшей безаварийной эксплуатации цифровых подстанций (ЦПС). В настоящий момент ввиду отсутствия конкретных требований к составу оборудования для обеспечения информационной безопасности в соответствии с приказом ФСТЭК № 239 от 25 декабря 2017, необходимо оперативно разрабатывать стратегию защиты от потенциальных угроз безопасности данных.

Литература

1. **СТО 56947007-29.240.10.302-2020** Типовые технические требования к организации и производительности технологических ЛВС в АСУ ТП ПС ЕНЭС. — 22 с.

*С.Ф. Абдурашитов, студ.;
рук. О.В. Владимиров, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПОДСТАНЦИИ 110 КВ

Техническая диагностика — это научно-техническая дисциплина, изучающая и устанавливающая признаки дефектов технических объектов, а также методы и средства обнаружения и поиска дефектов [1]. Различные методы диагностики электрооборудования позволяют с помощью современных приборов определять состояние оборудования, не прибегая к его разборке [1]. По результатам диагностики можно контролировать степень надежности электрооборудования, уменьшить расходы на его эксплуатацию и ремонт, повысить экономическую эффективность работы оборудования. Все методы диагностирования электрооборудования можно разделить на два основных метода контроля: неразрушающего и разрушающего контроля. Методы неразрушающего контроля — методы контроля материалов, не требующие разрушения образцов материала. Соответственно, методы разрушающего контроля — требуют разрушения образцов изделия. Различные технические системы имеют различные структуры и назначения, соответственно, нельзя ко всем применить один и тот же вид технической диагностики.

В механизме развития дефектов, различаются четыре основные стадии:

1. Нормальное состояние оборудования;
2. Дефект в начальной стадии развития (нет явного влияния на работу);
3. Сильно развитый дефект (сокращение эксплуатационного срока);
4. Дефект в аварийной стадии (эксплуатация невозможна).

На основании анализа основных методов диагностики электрооборудования делаем выводы, что для объективной оценки технического состояния оборудования электрической подстанции на основании технического диагностирования необходимо:

- провести анализ оборудования электрической подстанции;
- определить перечень диагностических параметров;
- провести анализ существующего оборудования, необходимого для диагностирования;
- определить методы технической диагностики.

Литература

1. **Костюков, В.Н.** Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / М-во образования и науки РФ, Омский гос. тех. ун-т, НПЦ «Динамика». — 2-е изд., — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. — 378 с. 3.

*Д.Н. Груздев, студент;
рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)*

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО СТАТИСТИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МАСЛА

При определении электрической прочности изоляции силовых трансформаторов в качестве диагностического параметра применяется среднее значение пробивного напряжения, которое устанавливается с учетом класса номинального напряжения оборудования в соответствии с нормативным документом [1]. Однако в данном нормативном документе не отражается статистический критерий — важный параметр, используемый при оценке электрической прочности трансформаторного масла. В качестве статистического критерия в [2] предложен параметр U_0/U_n , который определяется по распределению Гнеденко-Вейбулла.

По методике диагностирования изоляции силовых трансформаторов [2] выполнены расчет статистического критерия электрической прочности для 30 действующих силовых трансформаторов и сопоставление этого критерия при обработке результатов эксплуатационных испытаний с требованиями к предельным значениям $(U_0/U_n)_{пр}$, которые определены по разработанному методу при заданных уровнях минимальной электрической прочности масла для различных мощностей силовых трансформаторов класса 110 и 220 кВ. Наибольший процент трансформаторов, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, имеет место при минимальной электрической прочности, которая при проектировании трансформаторов в нашей стране закладывается с 15% запасом, составляет 93%. Если уменьшать запас по электрической прочности, то доля трансформаторов, для которых наблюдается соответствие требованиям уменьшается.

Выполненный анализ результатов при диагностировании изоляции силовых трансформаторов по методу [2] с применением статистического критерия электрической прочности масла показал, что у трансформаторов, для которых наблюдалось отклонение статистического критерия от предельного значения, при испытании по другим нормативным параметрам согласно [1] также наблюдались отклонения от заданных требований.

Литература

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. — Изд. 6-е, с изм. и доп. Москва, НЦ ЭНАС, 2004, 355 с.
2. Митькин Ю.А. Метод определения статистических характеристик электрической прочности трансформаторного масла с применением распределения Гнеденко-Вейбулла по результатам малой экспериментальной выборки/ Ю.А. Митькин, О.С. Мельникова // Вестник ИГЭУ. — 2014. — Вып. 2. — С. 18–25.

*Д.Д. Гладышева, О.М. Шагалова, студенты;
рук. Н.Н. Смотров, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЭЦ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

На данный момент электрооборудование генераторных распределительных устройств ТЭЦ (ГРУ-ТЭЦ) подвергается перенапряжениям при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях 6(10) кВ. Для снижения воздействия перенапряжений при ОЗЗ на электрооборудование ТЭЦ, возможны два варианта решения проблемы: переход на резистивный режим заземления нейтралей с отключением ОЗЗ, либо применение гальванической развязки с заменой токоограничивающих реакторов на развязывающие силовые трансформаторы.

Целью данной работы являлся выбор параметров силового трансформатора, необходимого для гальванической развязки, по критерию обеспечения ограничения уровня тока короткого замыкания (КЗ). Для достижения поставленной цели была разработана расчетная модель в программном комплексе GuPlanAC, отражающая типовую схему ГРУ-ТЭЦ 6(10) кВ. Выбор параметров трансформатора осуществлялся по критерию ограничения токов межфазных КЗ на уровне 12 кА.

На основе расчетного моделирования были получены следующие параметры трансформаторов: $K_t=10,5/10,5$ кВ; $6,3/6,3$ кВ; $S_{ном}=16$ МВА; $U_k=10\%$. Данное решение позволяет обеспечить гальваническую развязку распределительной сети 6(10) кВ и оборудования ГРУ-ТЭЦ, также преимуществом данного решения является отсутствие необходимости согласования принятого решения с сетевыми организациями. Отдельным вопросом является проработка масса-габаритных решений по трансформаторам для обеспечения гальванической развязки. Данные трансформаторы предлагается устанавливать в ячейки токоограничивающих реакторов. Также рекомендуется установка трансформаторов, оснащенных экраном, для сглаживания высокочастотных электромагнитных помех при ОЗЗ.

Литература

1. **Васильев А.А.** Электрическая часть станций и подстанций: учебное пособие / А.А. Васильев; под ред. А.А. Васильева. — Москва: Энергия, 1980. — 680 с. — Текст: непосредственный.
2. **Балаков Ю.Н.** Проектирование схем электроустановок: учебное пособие / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2005. — 288 с. — Текст: непосредственный.

А.В. Малай, студент; рук. Ю.В. Монаков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИН ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НЕБОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Во многих регионах нашей страны функционируют изолированные маломощные энергосистемы, значительную часть генерации которых составляют дизельные электростанции. И одной из главных проблем таких энергосистем является удорожание электроэнергии, связанное с ограниченной транспортной доступностью, что очень сильно влияет на стоимость завоза топлива.

Одно из перспективных решений — развитие ветрогенерации в таких регионах. В качестве ветрогенераторов целесообразно использовать машины двойного питания (DFIG), так как за счет конструктивных особенностей они могут работать в широком диапазоне скорости вращения. Для изолированных энергосистем в труднодоступных регионах такое решение является перспективным.

Несмотря на плюсы внедрения таких ветрогенераторов, следует учитывать их уязвимость при коротких замыканиях в маломощных энергосистемах. Данный вопрос на сегодняшний день изучен не так хорошо, чтобы говорить о близкой перспективе работы ветрогенераторов на базе DFIG в таких системах.

Целью данного исследования является проведения моделирования различных аварийных режимов в изолированных энергосистемах небольшой мощности в различных вариациях с целью оценки их влияния на работу DFIG, встроенных в энергосистему.

Самой уязвимой частью DFIG является преобразователь, который электрически связан с ротором. И при коротком замыкании в цепи статора протекают большие токи. Но так как между статором и ротором машины существует электромагнитная связь, то и в цепи ротора тоже протекают большие токи, что может вывести из строя преобразователь.

В исследовании планируется создать модель изолированной энергосистемы с подключенной к ней DFIG в качестве ветрогенератора и смоделировать аварийные режимы в разных вариациях.

Литература

1. **Bayindir R.** Short-Circuit Fault Analysis on Microgrid // 2015 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications. P. 1–5.

*Г.К. Морозенко, А.Г. Кощеева, студенты;
рук. А.А. Антонов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ КОЛЛЕКТОРНОЙ СЕТИ ВЭС НАПРЯЖЕНИЕМ 10–35 КВ

Начиная с 2013 года в энергосистеме России стартовало строительство ветряных электростанций (ВЭС) при поддержке федерального бюджета (программа договоров поставки мощности от электростанций на основе возобновляемых источников энергии — ДПМ ВИЭ). ДПМ ВИЭ содержит требования по минимизации затрат на сооружение ВЭС исходя из ограничения максимальных капитальных вложений на 1 кВт установленной мощности ВЭС. Для проектируемых в настоящее время ВЭС мощность одной ветроэнергетической установки (ВЭУ) составляет от 2 до 4 МВт. Таким образом, ВЭС мощностью несколько десятков МВт, состоит из групп ВЭУ, которые объединяются посредством коллекторной сети ВЭС на уровне напряжения 10–35 кВ.

Целью исследования является выбор структурной схемы коллекторной сети ВЭС с минимальными дисконтированными затратами и выявление факторов, влияющих на затраты рассмотренных структурных схем.

В данной работе для ВЭС номинальной мощностью 60 МВт (24 ВЭУ по 2,5 МВт каждая) рассмотрено 5 вариантов структурных схем соединения ВЭУ в группы на напряжении 35 кВ [1]: «кольцевая» (2 цепочки по 12 ВЭУ), «звезда» (2 звезды по 12 ВЭУ) и 3 «радиальных» (3 цепочки по 8 ВЭУ, 6 цепочек по 4 ВЭУ и 2 цепочки по 12 ВЭУ).

Последовательное соединение ВЭУ (радиальная схема) на уровне напряжения 35 кВ позволяет подключить не более 12 ВЭУ мощностью 2,5 МВт в одной цепочке напряжением 35 кВ, при этом наибольший рабочий ток на головном участке цепочки ВЭУ не будет превышать 550 А.

При расчете затрат на структурную схему коллекторной сети ВЭС учтены три составляющие затрат: на комплектную трансформаторную подстанцию (КТП) ВЭУ 0,69/35 кВ, на ячейки выключателей комплектного распределительного устройства (КРУ) 35 кВ и на кабельные линии 35 кВ.

Сопоставление дисконтированных затрат на варианты структурной схемы коллекторной сети ВЭС показало, что наименьшие затраты имеет радиальная схема с минимальным количеством ячеек КРУ 35 кВ (2 цепочки по 12 ВЭУ). Суммарная длина и среднее сечение жилы кабельных линий оказывает значительно меньшее влияние на затраты схемы, чем количество ячеек КРУ в коллекторной сети 35 кВ ВЭС.

Литература

1. **Camm E.H. et al.** Wind Power Plant Substation and Collector System Redundancy, Reliability, and Economics // 2009 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09. 2009. P. 1–6.

М.М. Киприянова, студент; рук. А.П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В настоящее время наблюдается планомерное старение парка силовых трансформаторов, срок эксплуатации большинства которых превышает нормативный срок службы. Поэтому возрастает роль диагностики состояния оборудования и определения его остаточного ресурса. Ресурс трансформатора оценивается по ресурсу целлюлозной изоляции [1], исходя из ее степени полимеризации (СП). Предельно допустимое значение СП установлено в [2] и равно 250 ед. Отбор проб целлюлозной изоляции для выполнения анализа на СП проводится при капитальных ремонтах трансформатора, то есть при полном или частичном сливе масла из бака.

Опыт показывает, что анализы на СП достаточно трудоемки и поэтому не выполняются в физико-химических лабораториях энергетических предприятий, ремонтных организациях и в большинстве специализированных лабораториях. В связи со сложностью во многих регионах Российской Федерации оперативно выполнять анализы на СП, может быть использован известный метод оценки уровня старения твердой изоляции по классу механической прочности. Данный способ прост в реализации и ранее достаточно широко использовался при выполнении капитальных ремонтов.

Целью исследования было определение корреляции СП и класса механической прочности. В работе выполнен анализ результатов определения СП и класса механической прочности 70-ти проб твердой изоляции. В результате определена зависимость между данными параметрами и оценен доверительный интервал с вероятностью 0,95. Кроме того, произведен анализ доступных мест отбора проб целлюлозной изоляции в активной части трансформатора. Определены наиболее оптимальные точки отбора образцов изоляции во время ремонтных работ для определения уровня их деструкции.

Литература

1. **Васин, В.П.** К задаче оценки остаточного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В.П. Васин, А.П. Долин. — Текст: непосредственный // Новое в российской энергетике. — 2008. — № 3. — С. 42–55.
2. **СТО 34.01-23.1-001-2017** Объем и нормы испытаний электрооборудования: 2017. 262 с. — Текст: непосредственный.
3. **СО 34.46.605-2005.** Типовая технологическая инструкция. Трансформаторы классов напряжения 110–1150 кВ мощностью 80 МВ·А и более. Капитальный ремонт. — Москва: ОАО «ЦКБ Энергоремонт», 2005. 78 с. — Текст: непосредственный.

М.М. Киприянова, студент; рук. А.П. Долин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Увлажнение твердой изоляции силовых трансформаторов провоцирует развитие частичных разрядов, может приводить к пробоям изоляционных промежутков и отказу оборудования. Увлажнение твердой изоляции может происходить в результате повреждения или нарушения эксплуатации системы защиты от увлажнения, разгерметизации трансформаторов, деструкции твердой изоляции, нарушений проведения ремонтных работ.

Влагосодержание твердой изоляции измеряется прямыми методами при отборе заложенных макетов (при их наличии), а также изоляции образцов в активной части при капитальных ремонтах. Используется метод Дина-Старка, реже метод К. Фишера [1]. Для трансформаторов, находящихся в эксплуатации, допустимое значение влагосодержания не должно превышать 2%, а для трансформаторов, отработавших нормативный срок, — 4%.

Цель работы состояла в определении влагосодержания целлюлозной изоляции по высоте трансформатора с системами охлаждения Д и ДЦ, а также сопоставлении расчетных значений влагосодержания с прямыми измерениями. Установлено, что в трансформаторах с системой охлаждения Д влагосодержание изоляции распределяется неравномерно, достигая наибольших значений внизу активной части. В трансформаторах с системой охлаждения ДЦ распределение влагосодержания по высоте происходит практически равномерно. Кроме того, влагосодержание образцов дополнительной изоляции боковых креплений отводов НН как правило больше влагосодержания образцов барьерной изоляции.

В ходе исследования влагосодержания 53 образцов изоляции 12 трансформаторов и сопоставления с результатами аналитического определения влагосодержания по изоляционным характеристикам, а также по равновесному состоянию установлено, что средняя погрешность метода расчета по tgd составляет 16,2%, а по равновесному состоянию 27,2%.

Литература

1. **ГОСТ Р МЭК 60814-2013.** Жидкости изоляционные. Бумага и прессованный картон, пропитанные маслом. Определения содержания воды автоматическим кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру. — Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2019. 39 с. — Текст: непосредственный.

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

Е.М. Воронкова, асп.; рук. А.Г. Темников, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УЧЕТ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Анализ аварийности объектов российского электросетевого хозяйства за последние десять лет [1] свидетельствует о значительном влиянии внешних факторов, в частности природных явлений, на нормальное функционирование воздушных линий электропередачи (ВЛ). Большинство компаний проводят модернизацию или проектирование ВЛ и её элементов без учета изменяющегося влияния климата. Сложность учета климатических изменений связана с отсутствием прогнозных сценариев изменения климата по скорости ветра (средней, максимальной) и грозовой активности. Прогнозирование грозовой активности до сих пор является сложной задачей. В таких условиях только детальный анализ грозовой аварийности объектов может позволить получить корректные данные и разработать методику составления актуального прогноза грозовой активности.

В работе предложен подход определения вариации количества отключений ВЛ 6–220 кВ на основе многоэтапного анализа статистических данных оперативных журналов электросетевых компаний трех регионов с 2014 по 2018 гг., основные результаты которого обобщены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты анализа грозовой аварийности ВЛ за 2014–2018 гг.

| Регион | Республика Башкортостан | Краснодарский край и Республика Адыгея | Забайкальский край |
|---|--------------------------------|---|---------------------------|
| Период грозовой активности (пик) | апрель-сентябрь (июнь) | апрель-октябрь (июнь) | май-сентябрь (июль) |
| Количество отключений за пять лет | 6884 | 1040 | 549 |
| Среднегодовая интенсивность отказов, 1/(год·км) | 0,062 | 0,031 | 0,022 |

Полученные данные по грозовой активности могут быть рекомендованы не только для обоснования мероприятий по реконструкции ВЛ с целью повышения их надежности в грозовых условиях, но и учитываться при размещении на ВЛ систем мониторинга различного назначения с учетом возможного воздействия на них атмосферного электричества и молнии.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

Литература

1. Годовые отчеты ПАО «РОССЕТИ». URL: <https://rosseti.ru/investors/info/year/> (Дата обращения: 01.09.2021).

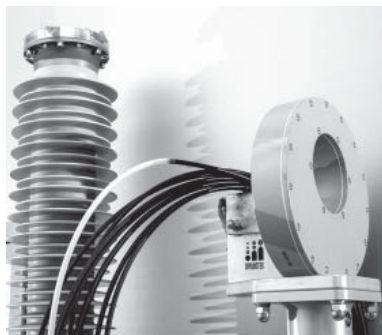
*Е.Е. Пашковская, студ.; А.А. Иванов, Д.М. Бисеров, аспиранты;
рук. Б.А. Сафронов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

На сегодняшний день как в России, так и в мире в целом цифровизация в электроэнергетике входит в стадию масштабного внедрения. В электроэнергетической сфере активно развиваются стратегии цифровизации сетей, позволяющие перевести генерацию, передачу и распределение электроэнергии на современную цифровую технологическую платформу.

Современная сетевая инфраструктура требует повышения наблюдаемости и управляемости сети. Контроль за параметрами сети становится более требовательным к качеству измерения в широких диапазонах первичных токов и несинусоидальных режимах работы. Измерения токов и напряжений, проводимые классическими измерительными трансформаторами, в таких условиях становятся недостаточно эффективными, и фокус внимания смещается на электронные измерительные трансформаторы. Они позволяют существенно повысить точность измерений и перейти на качественно новый уровень измерений с применением цифровой обработки сигнала [1].

С учетом перспективного массового применения оптических измерительных трансформаторов появляется необходимость в разработке программы повышения квалификации по теме: «Реализация инновационных цифровых решений для электроэнергетики: применение оптических электронных измерительных трансформаторов тока и напряжения на предприятиях энергетического комплекса». Данная программа разрабатывается при поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ для индустриального партнера — АО «Профотек».



Цель программы — подготовить специалистов, способных проектировать, ремонтировать и обслуживать цифровые измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Литература

1. **Александров Л.Б.** Коммерческий учет электроэнергии с использованием цифровых измерительных систем // *Электроэнергия. Передача и распределение.* 2020. Т. 61. № 4.

А.В. Галимова, асп.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТРИМЕРОВ В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Стримерный разряд используется, например, для очистки воздуха от газообразных примесей [1]. Это объясняет интерес к его исследованиям, в частности, посредством вычислительных экспериментов. Например, в учебнике [1] и монографии [2] моделировалось формирование и распространение стримеров в воздухе в однородном электрическом поле (ЭП).

Интересен расчёт параметров стримеров вдали от электродов в газовом разрядном промежутке. Изучается их развитие во внешнем ЭП и в поле их зарядов без искажающего влияния электродов, и появляется двухголовочный стример. В этом докладе выполнено моделирование таких стримеров в однородном ЭП в воздухе при нормальных атмосферных условиях.

Рис. 1 иллюстрирует развитие разряда в ЭП с напряжённостью $E_0=5 \times 10^4$ В/см в промежутке длиной $D=0,3$ см. Показаны распределения напряжённости $E(z)$ и концентрации электронов $N_e(z)$ вдоль оси Oz . Вдоль неё распространяется разряд, достигаются наибольшие значения E и N_e . Положительная головка движется к катоду ($z=0$), отрицательная — к аноду ($z=D$).

Выявлена особенность формирования разряда в однородном ЭП: сначала стартует отрицательная стримерная головка, и лишь после накопления объёмного заряда и усиления его поля создаётся положительная.

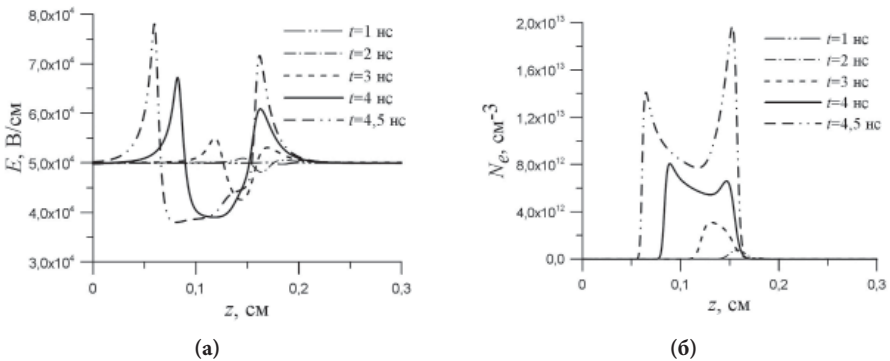


Рис. 1. Распределения напряжённости E (а) и концентрации электронов N_e (б) вдоль оси двухголовочного стримера в однородном ЭП в воздухе

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. Дьяков А.Ф. Физические основы электрического пробоя газов / А.Ф. Дьяков, Ю.К. Бобров, А.В. Сорокин, Ю.В. Юргеленас; под. ред. А.Ф. Дьякова. — М.: Издательство МЭИ, 1999.

Д.С. Петров, студент; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОХОДНОГО ИЗОЛЯТОРА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время синтез озона наиболее эффективен при воздействии барьерного разряда на кислород. Для организации питания генератора озона необходимо подводить высокое напряжение к электродам разрядной ячейки. Проходные изоляторы, используемые для этого, должны быть стойкими к агрессивной рабочей среде (озон один из сильнейших окислителей) и на их поверхности не допускается развитие разрядных процессов из-за опасности возникновения пожара.

Существующие сегодня программные комплексы позволяют подробно рассчитать распределение электрического поля даже в самых сложных конструкциях. После проведенного сравнения известных программ, для расчета полей в плоскопараллельных и аксиально-симметричных системах была выбрана программа BETAFields.

В работе проведён выбор формы фланцев, размеров полимерной изоляции (эпоксидного компаунда) и токоведущих частей для проходного изолятора, исходя из условий электрической прочности, отсутствия условий возникновения частичных разрядов и разрядов вдоль поверхности изолятора. На рис. 1. приведена зависимость максимальной напряженности на поверхности изолятора от радиуса токовода.

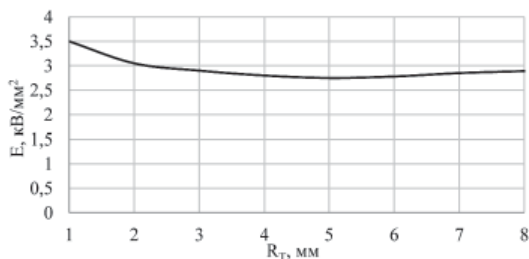


Рис. 1. Зависимость максимальной напряженности от радиуса токовода

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

Литература

1. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 168 с.

П.И. Пичугин, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ

Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) является одним из популярных методов расчёта электрических полей и заключается в замещении электродной системы набором дискретных эквивалентных зарядов (ЭЗ) Q , известные поля которых в результате наложения давали бы искомое поле реальной системы. По известным в контурных точках (КТ) потенциалам φ составляется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) $PQ=\varphi$, где P — матрица потенциальных коэффициентов. Из-за её плохой обусловленности нахождение неизвестных ЭЗ Q часто бывает невозможным, что требует поиска эффективных методов решения.

Опыт реализации МЭЗ показал, что решение СЛАУ эффективно проводить итеративным решателем `lsqr`, встроенного, например, в пакет MATLAB. Решатель реализует метод наименьших квадратов (МНК), находя решение в виде $Q=(P^T P)^{-1} P^T \varphi$. Другой альтернативой является применение метода регуляризации Тихонова, являющегося дальнейшим развитием МНК с целью повышения устойчивости решения [1]. Он требует ввода параметра регуляризации α , а решение ищется в виде $Q=(P^T P + \alpha E)^{-1} P^T \varphi$, где E — единичная матрица. Параметр регуляризации α для задач МЭЗ следует выбирать из диапазона $10^{-7} \leq \alpha \leq 10^{-3}$ [2].

В качестве примера можно показать расчёт двумя методами осесимметричного поля цилиндра радиусом $R=0,2$ м, высотой $H=0,5$ м, с радиусом закругления углов $r=0,08$ м и под напряжением $U=1$ кВ. Максимальные напряжённости E_{max} составят: по методу МНК — 5527,743 В/м, по методу регуляризации — 5524,755 В/м. Различие составляет менее 0,06%, что означает успешную применимость методов для решения возникающих в полевых расчётах СЛАУ.

Литература

1. **Севастьянов Л.А., Ловецкий К.П., Ланеев Е.Б.** Регулярные методы и алгоритмы расчета обратных задач в моделях оптических структур: Учебное пособие. — М.: РУДН, 2008.
2. **Бобиков В.Е.** Инженерные аспекты применения метода эквивалентных зарядов в расчетах электрических полей высоковольтного оборудования: диссертация ... кандидата технических наук: 05.14.12. — Истра, 1983.

С.А. Шапкин, асп.; рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В докладе рассматривается методика общепринятого способа практического представления комплексных амплитуд отдельных составляющих электромагнитных и электромеханических переходных процессов в форме векторных диаграмм на комплексной плоскости. Однако, такие векторные диаграммы не предназначены для отображения затухающих составляющих (апериодических и гармонических), так как характеризуются только комплексной амплитудой.

Известен способ графического представления четырёхмерных векторов на комплексной плоскости с двумя системами координат [1], в которых одна система координат используется для отображения комплексной частоты, а другая для отображения комплексной амплитуды. Данный вектор называется гипервектором.

В докладе приводятся практические примеры отображения реальных осциллограмм переходных процессов в виде гипервекторов.

Кроме статического представления автором предложено специализированное программное обеспечение для динамического формирования изображения гипервекторов для различных дискретных моментов времени, а также в динамическом непрерывном процессе. Так же автор обосновывает перспективность расширения области применения и использования гипервекторов.

Литература

1. **Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г.** Векторные и гипервекторные измерения в электроэнергетике. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2021. — 90 с.: Приложение к журналу «Энергетик». Вып. 9 (273).

К.И. Таратонкина, студ.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ ЕГО СРЕДУ

Санитарно-эпидемиологические исследования среди персонала подстанций и воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения (ВН) 220÷500 кВ [1], показали, что люди, работавшие на подстанциях 500 кВ, испытывали повышенную утомляемость, вялость и сонливость, жаловались на головные боли, нарушения работы сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта. В докладе представлены результаты анализа посвящённой этой проблеме литературы.

Основную угрозу человеческому организму несет влияние на нервную и мышечную ткани токов, наведенных электромагнитными полями (ЭМП) промышленной частоты (ПЧ) [1]. Его интенсивность определяется их плотностью j : выраженные эффекты возникают при $j=1\div 10$ мкА/см², а при $j=0,1\div 1$ мкА/см² имеются неопасные эффекты.

При измерениях на макете человеческого тела, помещённом в магнитное поле ПЧ с напряжённостью 80 А/м, были получены максимальные значения $j_{\max}=0,2$ мкА/см², и средние — $j_{\text{ср}}=0,015$ мкА/см² [1]. В [2] в цикле ОАПВ на ВЛ 750 кВ были получены большие значения j_{\max} в тканях вплоть до 18,15 мкА/см². Эти значения находятся в диапазоне, где возможно неблагоприятное воздействие наведенных токов на организм.

Некоторые результаты говорят о том, что ЭМП ВЛ ВН, негативно воздействуют не только на людей, их обслуживающих или проживающих рядом с ними, но и на растения и животных в их окрестностях. Например, в статье [3] представлены расчёты плотности тока в водоёме, над которым на высоте 10 м проходят провода ВЛ 500 кВ. Оказалось, что значения j могут достигать значений, опасных для водной фауны.

Отсюда вытекает необходимость анализа ЭМП ПЧ, созданных ВЛ ВН, на этапе их проектирования и определения их трасс.

Литература

1. **Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г.** Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Токарский А.Ю.** Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. Специальность 05.14.02 — Электрические станции и электроэнергетические системы. — Иваново, 2011.
3. **Кадомская К.П.** Электромагнитная совместимость каналов передачи электроэнергии с биосферой / К.П. Кадомская, С.А. Кандаков, Ю.А. Лавров, И.М. Степанов, С.С. Шевченко // Труды Кольского научного центра РАН. 2011. № 4. С. 9–28.

*Д. Ю. Жаворонков, студент;
рук. О. С. Мельникова, к. т. н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Заземлители являются обязательным элементом оборудования электрических станций. Заземляющие устройства должны обеспечивать безопасность персонала электроустановок, поэтому одной из актуальных задач является точное определение электрических характеристик поля, создаваемого заземлителем при стекании тока короткого замыкания при нарушении изоляции оборудования [1].

Решение задачи определяется с помощью программного комплекса ELCUT. Заземлитель выполнен в виде полусферы радиуса $r_{ш}$, погруженной в грунт вровень с его поверхностью. При нарушении изоляции трансформатора с заземлителя стекает стационарный ток замыкания I . В расчётах известна длина шага $l_{ш}$, радиус электрода $r_{ш}$, допустимое шаговое напряжение $U_{ш, доп.}$, удельное сопротивление грунта ρ . При открытии ELCUT в графе «Имя файла» вводится имя новой задачи, в графе тип задачи выбирается — «Электрическое поле постоянных токов», класс модели — «Осесимметричная», в графе «Единицы длины» — метры, «Координаты» — декартовы, «Расчет» — обычный. Далее задаются геометрия модели — полусфера, метки, ребра, физические свойства сред. Также необходимо ввести найденную величину плотности тока. Для того чтобы задача была решена необходимо задание граничных условий. Условия задаются в одной точке расчетной области. На остальных ребрах модели они устанавливаются автоматически. После всех выполненных действий в модели создается расчетная сетка конечных элементов и выполняется решение задачи. Когда решение закончится, откроется окно результатов решения. Решение задачи представлено в виде картин поля — распределения напряженности и потенциала в любой точке модели, а также в виде таблиц.

При решении этой задачи находятся следующие характеристики граница опасной зоны, напряжение, под которым окажется человек, если он находится на границе опасной зоны, напряжение прикосновения, воздействующее на человека, оказавшегося в середине опасной зоны и коснувшегося бака трансформатора проводящим предметом в момент нарушения изоляции, сопротивление растеканию стационарного тока.

Литература

1. **Белоедова, И.П.** Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учеб. пособие для вузов/ И.П. Белоедова, Ю.В Елисеев., Е.С. Колечицкий; под. ред. Е.С. Колечицкого. — М.: Изд. дом МЭИ, 2016. — 248 с.

А.А. Захаров, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ НОСОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ

В среднем в самолет попадает молния один раз на 1000 часов полета, поэтому необходимо обеспечить надежную защиту носовых обтекателей и находящегося под ними оборудования от воздействия молнии. Сложность проектирования молниезащиты заключается в том, что наличие проводящих элементов в обтекателе должно оказывать минимальное влияние на работу антенны и при этом обеспечивать ее хорошую защиту от ударов молнии. В настоящее время наряду с классическими полосовыми молниеотводами стали применяться так называемые сегментные молниеотводы [1].

Для сравнения эффективности применения полосовых и сегментных молниеотводов был проведен ряд экспериментальных модельных исследований. Модели обтекателей (рис. 1) располагались на заземленной плоскости под искусственной грозовой ячейкой потенциалом до 1 МВ.

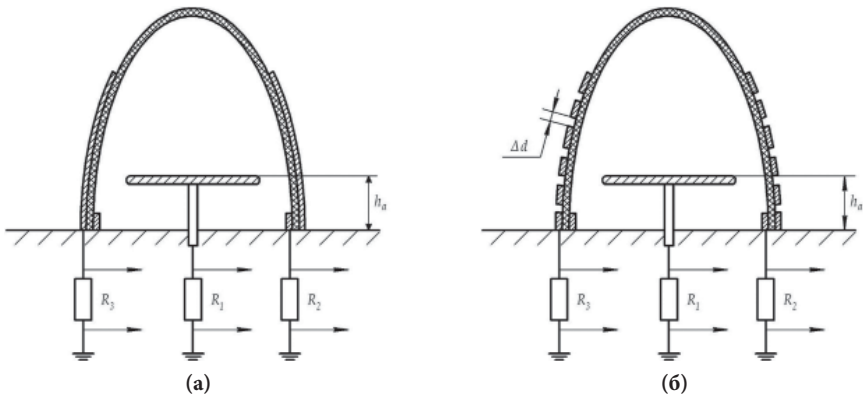


Рис. 1. Модели обтекателя с полосовым (а) и сегментным (б) молниеотводом

Была выявлена целесообразность и эффективность применения сегментных молниеотводов и возможность дальнейшего повышения эффективности за счет изменения шага и формы сегментов.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

Литература

1. A. Vukovic, P. Sewell and T. M. Benson, "Impact of In Situ Radome Lightning Diverter Strips on Antenna Performance," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 68, no. 11, pp. 7287–7296, Nov. 2020, doi: 10.1109/TAP.2020.2998169.

*Е.А. Кислова, С.А. Зализный, Д.С. Кардаш, студенты;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Погрешности трансформаторов тока, возникающие в установившемся режиме, имеют большую значимость. Классы точности ТТ определяются в зависимости от первичного тока, вторичной нагрузки, частоты и температуры.

Устройства РЗ рассчитаны на работу в режимах КЗ или перегрузки. Переходные режимы подвергают ТТ воздействию экспоненциальной составляющей однополярного тока, насыщая магнитопровод, вносят погрешности в измерения. Несмотря на то, что в РЗ точность трансформации имеет гораздо меньшее значение, чем в измерительной технике, значительные погрешности могут вызвать задержку срабатывания устройств РЗ, их ложное действие или отказ. Таким образом, расчетным режимом работы становится не установившийся, а переходный режим. В нём необходима проверка и контроль погрешности ТТ. [1] При несинусоидальном первичном токе установлены дополнительные требования к классам точности ТТ.

Предлагается применить селективное измерение — контроль трансформации нужной составляющей сложного спектра тока ТТ, разложенного по функциям времени. Рассмотрен метод представления токов на плоскости с двумя системами координат в виде четырехмерных векторов — гипервекторов [2], отображающих параметры переходного процесса: амплитуду и фазу, частоту и затухание.

В методике предлагается использовать разложение осциллограмм первичного и вторичного токов на отдельные составляющие по функциям времени и представление этих составляющих в виде гипервекторов. Для оценки погрешности передачи ТТ по модулю и фазе сравниваются соответствующие значения координат гипервекторов.

Литература

1. **Казанский В.Е.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. изд. 2-е переработ. М., «Энергия», 1969.
2. **Арцишевский Я.Л., Климова Т.Г., Расцепляев А.И.** Представление переходных процессов электроэнергетических систем на гиперплоскости с двумя системами координат // Электричество. 2011. № 4.

*В.Д. Уксеков, М.С. Малютин, К.В. Латышов, Н.Е. Бондаренко,
студенты; рук. В.Г. Карантаев к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Реализация модели системы обнаружения вторжений на основе методов машинного обучения начинается с постановки задачи. Модель решает задачу классификации, поскольку ее цель определять относится ли режим к аномалии или нет, данная задача — задача обучения с учителем, в модель подается заранее размеченный массив данных.

Для масштабирования задачи рассматривается определенный вид вторжения — несанкционированный доступ к управлению электроэнергетическим объектом (коммутационным аппаратом). Данный вид взлома опасен, поскольку в нормальном режиме может привести к отключению потребителей, а в аварийном к повреждению оборудования.

На вход нейронной сети подается массив объектов, где каждый объект в свою очередь — массив с числовыми признаками: мгновенные значения тока и напряжения, положение коммутационного аппарата, искусственный сигнал аварийного режима. Каждому объекту соответствует одно из двух значений: аномалия или нет.

В модели используется рекуррентная нейронная сеть, в которой связи между элементами образуют направленную последовательность, благодаря этому появляется возможность обрабатывать серии событий во времени или последовательные пространственные цепочки. Рекуррентные сети могут использовать свою внутреннюю память для обработки последовательностей произвольной длины [1].

Данная работа представляет собой описание реализации и принципа работы модели системы обнаружения вторжений на основе рекуррентных нейронных сетей, применение которой может решить проблемы существующих методов обеспечения информационной безопасности цифровых подстанций.

Литература

1. **Черниговский А.В., Кривов М.В.** Нейронные сети как инструмент анализа сетевого трафика // Вестник АНГТУ. 2019. № 13.

Н.Е. Бондаренко, К.В. Латышов, М.С. Малютин, В.Д. Уксеков,
студенты; рук. А.А. Лебедев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РЗА ЦПС

Актуальность учета человеческого фактора при расчете надежности устройств РЗА ЦПС обусловлена новыми подходами к производству, проектированию, наладке и эксплуатации оборудования, в которых безошибочность действий человека зависит от многих факторов, не рассматриваемых ранее в методике оценки надежности [1]. К ним относятся: степень подготовки специалиста, психологические особенности человека (время восприятия сигнала от оборудования и реакция на него, ограничения краткосрочной памяти, способность к многозадачности и т.д.), перегрузка информацией (возрастание ошибок при перегрузке и/или при увеличении числа источников информации), дефицит времени (частота совершения ошибок зависит от скорости поступления информации), «сенсорный голод» (монотонная работа увеличивает частоту ошибок при длительном выполнении), физические возможности (антропометрические, биомеханические ограничения, сенсорные ограничения, рабочие условия, доступ к рабочему оборудованию).

Рассмотренные факторы влияют на этапы жизненного цикла в разной мере, поэтому необходимо учитывать их на каждом этапе и подэтапе бизнес-процессов. Приведен пример рассмотрения этапа наладки, на котором расписаны факторы в приоритетном списке для каждого подэтапа (рисунок 1). Из примера видно, что списки факторов отличаются. Таким образом, если произвести анализ факторов и их влияние на каждом этапе подобным способом, можно получить для начала сценарии влияния и вероятностные показатели, а далее разработать математическую модель или методику для учета этих факторов в общей оценке надежности РЗА ЦПС.

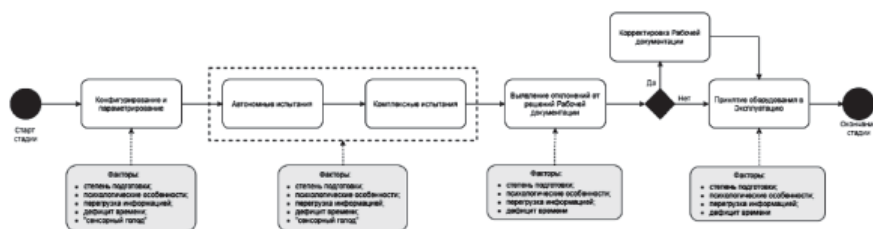


Рис. 1. Бизнес-процесс этапа наладки

Литература

1. Бондаренко Н.Е. Основные факторы, влияющие на надежность комплексов РЗА и АСУ ТП ЦПС // Радиотехника, электротехника и энергетика: тез. док. XXVII междунар. науч.-тех. конф. студентов и аспирантов. — М., 2021. — С. 1081.

К.В. Латышов, Н.Е. Бондаренко, В.Д. Уксеков, М.С. Малютин, студенты; рук. В.Г. Карантаев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНАЦИИ НАЛОЖЕННЫХ И ВСТРОЕННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Необходимость защиты информации на цифровых подстанциях (ЦПС) уже давно не вызывает ни у кого сомнений. Данный вопрос достиг определенного уровня развития, найдя отражение как в нормативной документации, так и в ряде отраслевых стандартов. Однако, имеющиеся на сегодняшний день результаты получены основываясь лишь на применении наложенных средств защиты, которые не способны покрывать весь спектр угроз. Дополнить систему защиты могут встроенные средства, о внедрении которых говорят достаточно давно [1], а приемы их реализации уже демонстрируются отечественными компаниями [2].

Несколько лет назад на энергосистему Украины с помощью вредоносной программы Industroyer была произведена атака, затронувшая более четверти миллиона разного рода потребителей. Учитывая схожесть построения электрических сетей, данная атака потенциально могла бы быть проведена и на энергосистему нашей страны. В работе были рассмотрены уязвимости, а также техники и тактики, на основе которых удалось реализовать атаку. Как итог, предложены модели защиты подстанций, способные предотвратить повторение сценария атаки. Предложены меры по защите информации, заключающиеся в применении комбинации встроенных и наложенных средств защиты информации (СЗИ). Было отмечено, что часть СЗИ может частично дублировать функции друг друга, что дало возможность выбора тех или иных применяемых средств в зависимости от наивысшего класса напряжения рассматриваемой ЦПС.

В ходе исследований рассмотрены различные комбинации СЗИ, проанализирована целесообразность их применения на объектах разного класса напряжения. Результатом стало предложение возможных типовых решений по обеспечению информационной безопасности ЦПС.

Литература

1. **Зинин В.М., Подлесный А.М., Карантаев В.Г.** Цифровая подстанция — объект критической инфраструктуры // Автоматизация и IT в энергетике. 2017. № 4 (93). — С. 28–32.
2. Международная конференция и выставка «Релейная защита и автоматика энергосистем» — 2021 — URL: <https://www.rza-expo.ru/> (дата обращения 06.11.2021).

*М.С. Малютин, В.Д. Уксеков, К.В. Латышов, Н.Е. Бондаренко,
студенты, А.А. Лебедев, к.т.н., Е.А. Волошин, соиск.;
рук. А.А. Лебедев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОТЛИЧИЙ МЕЖДУ РЕАЛЬНЫМИ И ЭТАЛОННЫМИ СИГНАЛАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЗА ЦПС

Выбор данной тематики обусловлен тем, что в данный момент в соответствии с энергетической стратегией РФ до 2035 года [1] осуществляется активное создание цифровых электрических сетей и цифровых подстанций. Для их стабильной и безопасной работы должным образом необходимо проводить проектирование, пуско-наладку и эксплуатацию систем РЗА на ЦПС.

Предметом данного исследования является создание программного модуля, способного отображать отличия между верифицированными проектными решениями и реальность в ясной, легко читаемой и интуитивно понятной для персонала форме. Сигналы, соответствующие проектным решениям, были сгенерированы на основе SCD-файла [2]. Реальные сигналы были получены в ходе функциональных испытаний при помощи испытательной установки РЕТОМ 61850 [4] и ПО KICS for Networks для захвата трафика ЛВС [5].

По результатам сравнения, описанных выше сигналов будут сформированы отчёты, доступ к которым может быть получен через WEB-интерфейс. Основной информацией в отчётах является: перечень отличающихся сигналов функционирования с указанием конкретных атрибутов и параметров, режим в котором обнаружено несоответствие и стадия жизненного цикла ЦПС, в рамках которой выполнялась проверка. Применение сервиса целесообразно на этапе ПНР, ПСИ и в эксплуатации.

Литература

1. **Правительство РФ**, распоряжение от 9 июня 2020 г. № 1523-р, «Об утверждении энергетической Российской Федерации на период до 2035 года». 2020.
2. **Voloshin A.A., Voloshin E.A., Busygin T.G.** «The Application of Artificial Intelligence Techniques for Automatic Synthesis Substation Configuration Files in Accordance with IEC 61850», 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation, RPA 2018 — IEEE Xplore Digital Library, 19 November 2018.
3. **Рыжов Э.П., Шалимов А.С.** «Тестирование интеллектуальных электронных устройств с поддержкой IEC 61869-9». Релейная защита и автоматизация. Чебоксары, 2020. С. 30–36.
4. **Support.Kaspersky [Электронный ресурс]**. Режим доступа: <https://support.kaspersky.com/KICSforNetworks/3.0/ru-RU/OnlineHelp-ru-RU.pdf>, свободный. (Дата обращения: 28.07.2021).

*А.Р. Энтентеев, Р.С. Максимов, аспиранты;
рук-ли. А.А. Волошин, к.т.н., доц.,
Д.М. Серов, ст. преп. («НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИНВЕРТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В СЕТЯХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

В последнее время наблюдается тенденция на переход от традиционных централизованных способов генерации электроэнергии к децентрализованным распределенным системам. Генерация при таком способе, как правило, представлена небольшими по мощности генерирующими установками (ГУ). Это могут быть как источники на основе возобновляемой энергии, так и небольшие дизельные или газопоршневые установки. Основной проблемой в небольших по мощности энергосистемах с большим количеством распределенных ГУ становится необходимость создания коммуникационных каналов связи для четкой координации устройств в сети. Однако строительство оптоволоконных каналов связи может значительно увеличить стоимость объекта, использование же беспроводных каналов связи является не самым надежным способом передачи информации. Поэтому существует необходимость создания новых методов передачи информации для осуществления управления устройствами.

Для гибкого управления в сетях с распределенной генерацией применяются дополнительные интерфейсные преобразователи, построенные на силовой электронике. Выход таких преобразователей в общем случае представляет из себя шестипульсную схему инвертора. Благодаря возможности гибкого управления инверторами с помощью ШИМ-генератора можно реализовать различные виды коммуникации между интеллектуальными устройствами в сети через линии электропередач.

В данной работе был проведен анализ возможности передачи информации по существующим линиям электропередачи различными способами модуляций с помощью инверторного преобразователя.

Литература

1. **Amirnaser Yazdani, Reza Iravani.** Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications // IEEE PRESS, 2010.
2. **И.С. Тоноровский.** Радиотехнические цепи и сигналы // М.: Радио и связь, 1986.

Д.Ю. Низамов, студ.; рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О ПРИМЕНЕНИИ МНОГОПОТОЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В инженерной и научной работе в области электроэнергетики выполняется большой объём вычислений. Затраты времени нужно уменьшить, чтобы повысить общую эффективность работы. Можно применить более мощные ЭВМ, но это дорого. Есть возможность оптимизировать программы расчёта, уменьшая затраты оперативной памяти и времени работы.

Один из способов сокращения времени расчётов — применение многопоточного программирования ЭВМ с многоядерными процессорами.[1] Такой процессор может одновременно выполнять несколько потоков команд, выполняемых параллельно. Теоретически, при делении на N потоков, программа ускорится в N раз.

В качестве примера здесь выбрана задача, которую легко поделить на отдельные потоки и актуальная для электроэнергетики — определение зависимости потерь мощности на коронный разряд от радиуса расщепления фазных проводов воздушной линии электропередачи [2] в диапазоне от R_{p1} до R_{p2} . Диапазон можно разделить на равные участки по количеству параллельных потоков, а затем объединить данные.

Тестовые запуски программы для решения данной задачи при разделении на $N=2$ два потока дали результаты, показанные на рис. 1. При количестве элементов $M=9900$ однопоточная программа работает в три раза медленнее многопоточной. Это можно объяснить работой алгоритмов, вшитых в процессор.

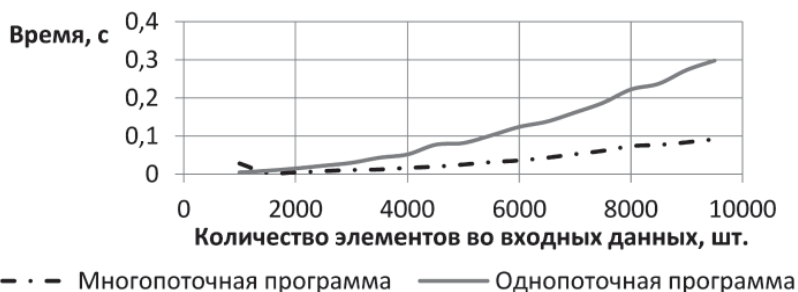


Рис. 1. Пример применения многопоточных вычислений

Литература

1. Mario Nemirovsky, Dean M. Tullsen. Multithreading Architecture. — изд. Morgan and Claypool Publishers, 2013. — ISBN 1608458555.
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.

*Е.Е. Пашковская, студ.; А.А. Иванов, аспирант;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доцент (НИУ «МЭИ»)*

ЗАЩИТА И УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ МОБИЛЬНОГО ТЕПЛО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АГРЕГАТА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ 0,4 КВ

В настоящей работе представлен агрегат для безопасного сжигания древесных отходов. Особенность агрегата — одновременное сжигание с целью обеспечения пожарной безопасности на обжитых территориях и генерации как электрической энергии в сеть 0,4 кВ, так и накопление тепловой энергии с помощью технологии «соляной пруд» для последующего использования [1].

В докладе рассматривается структура и технические характеристики агрегата, обосновывается актуальность разработки и приводятся технические решения по реализации эффективной защиты сети 0,4 кВ и управлению режимом работы установки для предотвращения электротравматизма при коммуникациях с сетью 10/0,4 кВ.

В работе проводятся результаты моделирования при реализации агрегата (см. рисунок 1) на базе двигателя Стирлинга, асинхронного генератора и преобразователя DC/AC с накопителем 10 кВт*час при работе как параллельно с энергосистемой, так и при работе в автономном режиме с управляемой нагрузкой.

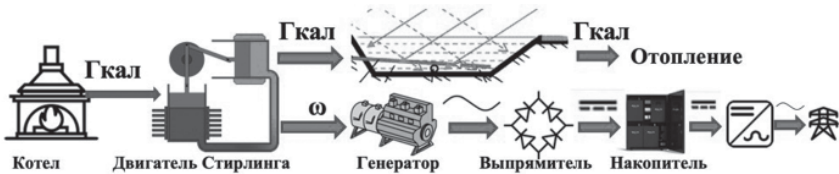


Рис. 1. Блоки установки

В выводах по докладу указывается на взаимосвязь с задачей обеспечения безопасности людей и территории России в соответствии с решениями Правительства РФ от 11.09.2020 г.

Литература

1. **Осадчий Г.Б.** Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ) / Г.Б. Осадчий. Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.
2. **Арцишевский Я.Л., Балашов В.В.** Релейная защита и электробезопасность персонала энергокомпаний и населения. Энергоэксперт. 2020 г. № 4 (76) с. 64–69.

А.В. Чертовских, студ.; рук. Н.Ю. Лысов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ РАЗРЯДОВ

Проблема снижения массы конструкции воздушного судна при сохранении его достаточной прочности и жесткости является одной из центральных в авиационной отрасли. Опыт развития мировой авиации показал, что снижение массы планера за счет разработки и применения более легких металлических сплавов на основе алюминия полностью исчерпало себя, и на смену «традиционным» материалам пришли принципиально новые — композиционные (КМ) [1]. Ухудшение свойств КМ в процессе эксплуатации может происходить в том числе и из-за воздействия на них поверхностных разрядов, возникающих в грозовой обстановке и в результате накопления статического заряда.

Для исследования деградации КМ под действием поверхностных разрядов была создана специальная установка. На рис. 1 показано изменение механических свойств двух видов КМ авиационного назначения в результате длительного воздействия на них поверхностного разряда (рис. 1). Очевидна отрицательная динамика изменения прочности материалов, что необходимо учитывать при эксплуатации воздушных судов.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

Литература

1. А.В. Зимбицкий, Ю.В. Стасюк. «Применение композиционных материалов в современном авиационном, контроль за их состоянием в эксплуатации».

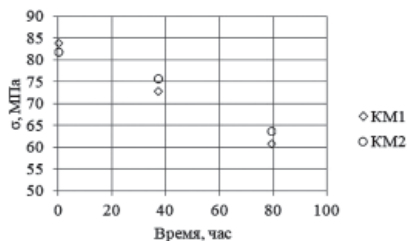


Рис. 1. Изгибающее напряжение при разрушении

*Р.С. Максимов, А.Р. Энтентеев, С.А. Шапкин, асп.;
рук. Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТММ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Солнечные панели вырабатывают мощность при строго определенном значении тока и напряжении (кривой ВАХ — вольт-амперной характеристики). Алгоритм определения ТММ позволяет отслеживать рабочую точку, при которой обеспечивается наиболее эффективная работа солнечных панелей, что в свою очередь увеличивает скорость заряда аккумуляторов. Алгоритм позволяет на 30–40% эффективнее заряжать аккумуляторы, поэтому для резервных и автономных солнечных электростанций наиболее выгодным становится использование именно такого подхода.

Задача определения ТММ заключается в нахождении минимума функции двух переменных $f(x,y)$ (следует отметить, что если необходимо найти максимум некоторой функции $F(x,y)$, то эта задача сводится к поиску минимума функции $f(x,y) = -F(x,y)$).

Известно, что вектор градиента функции направлен в сторону наибольшего возрастания функции $f(x,y)$. Поэтому в качестве направления движения можно принять противоположное градиенту направление (антиградиент), координаты точек пересчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k - \alpha_k \frac{\partial f(x_k, y_k)}{\partial x} \\ y_{k+1} &= y_k - \alpha_k \frac{\partial f(x_k, y_k)}{\partial y} \end{aligned} \quad (1)$$

В работе приводятся способ определения величины α_k для оптимальной работы метода градиентного спуска и сравнительный анализ работы алгоритма. Алгоритм определения ТММ солнечной батареи на основе градиентного спуска реализован и проанализирован с помощью ПК RSCAD [1].

Литература

1. RTDS Technologies, «Real Time Digital Simulation For The Power Industry Manual Set».

М. Тарраф, асп.;
рук. доцент, к.т.н. Я.Л. Арцишевский (НИУ «МЭИ»)

ЗАДАЧИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СИРИИ

В процессе преобразований и изменений условий существования становятся все более актуальными задачи восстановления и модернизации электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий Сирии.

Одним из факторов эффективности системы электроснабжения предприятий является сохранение устойчивости технологических Установок несмотря на возможность возникновения коротких замыканий кз разных видов в разнообразных точках схемы системы электроснабжения.

Как известно, различают однофазные, двухфазные и трёхфазные КЗ, то есть семь различных вариантов. Точек КЗ гораздо больше, участки линий сети внешнего или внутреннего электроснабжения, подстанций, трансформаторы, двигатели, различные другие электротехнические аппараты. КЗ может возникнуть на «стволе» пути электроснабжения конкретного электроприёмника или на «ветви» (в цепи электроснабжений соседней технологичной установки). Длительность отключения КЗ определяется значением выдержки времени действующей ступени РЗ. Кроме устройства РЗ следует учитывать и время действия устройств АПВ и АВР, а также УРОВ.

Кроме действия устройств РЗА на устойчивость технологических установок влияют свойства основного и вспомогательного оборудования, а также устройств управления этой технологической установкой.

В докладе предусмотрено использование графического метода оценки устойчивости технологической установки с использованием графической диаграммы с прямоугольной системой координат:

- Длительность провалов t_{np} ;
- Значения остаточного напряжения $v_{ост}$

Характеристикой является граничная линия между множеством опытов с сохранением устойчивости и множеством опытов с нарушением устойчивости (основное или вспомогательное оборудование а также система управления на диаграмме по схеме «или»)

Сопоставляя данные расчётов значений провалов с положением граничной линии можно безошибочно оценить устойчивость, а при нарушении условий устойчивости изменить алгоритм РЗА.

Литература

1. **Арцишевский Я.Л., Задкова Е.А., Кузнецов Ю.П.** расчетная методика определения структуры и параметров РЗА в системах электроснабжения ответственных потребителей // Релейших 2009. № 2.

М. Рммо, аспирант; рук. С.И. Хренов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОДВЕСНЫХ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И УВЛАЖНЕНИЯ

Проблема повышения надежности работы высоковольтных изоляторов в условиях загрязнения и увлажнения является одной из важнейших при эксплуатации электроустановок в Сирии. Эта проблема обострилась после перехода электрических сетей на более высокие классы напряжения, а также после строительства линий электропередачи в районах, подверженных промышленным и природным (морским и пустынным) загрязнениям.

Частицы пыли, осаждааясь из воздуха, создают на поверхности изолятора слой загрязнения. Содержащиеся в загрязнении ионообразующие вещества, (кислоты, щелочи, соли), соединяясь с атмосферной влагой, осевшей на изолятор, образуют электролит, вследствие чего увеличивается поверхностная проводимость изолятора [1].

Для оценки электрической прочности высоковольтных подвесных стеклянных изоляторов, используемых в условиях промышленного загрязнения, были проведены испытания с искусственным равномерным загрязнением двух типов высоковольтных подвесных тарельчатых стеклянных изоляторов ПСВ-120Б и ПС-160Д, используемых в промышленном районе Шейх-Наджар вблизи г. Алеппо в Сирии, и изоляторов типа ПС-70Е. В качестве загрязняющего вещества использовалась смесь каолина с добавлением заданного количества поваренной соли. Загрязнение производилось методом окунания изолятора в водную суспензию загрязняющего вещества и сушки. Перед приложением напряжения изоляторы увлажнялись дистиллированной водой. При искусственном равномерном загрязнении большое практическое значение имеет уточнение связи между основными параметрами слоя загрязнения (удельной поверхностной проводимостью, поверхностной плотностью солей в пересчете на NaCl) и разрядными характеристиками изоляторов. Разрядные характеристики трех типов подвесных стеклянных изоляторов были определены при различных степенях загрязнения. На основании результатов исследования можно выбрать тип изолятора, соответствующий требуемой степени загрязнения.

Литература

1. **Александров Г.Н.** Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции / В.Л. Иванов, В.Е. Кизеветтер. Л.: Энергия, 1969.

А. Ю. Смирнова, студ.;
рук. С. С. Шовкопляс (ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск)

О «МЕРТВОЙ ЗОНЕ» СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ПО ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) является частью комплекса ПА. Согласно госту Системного оператора Единой энергетической системы (СО ЕЭС) АЛАР предназначена для ликвидации асинхронных режимов отдельных генераторов, электростанций и частей энергосистем [1].

О выборе уставки по минимальному напряжению завод изготовитель даёт рекомендации, но значение уставки минимального напряжения следует рассчитывать из конкретных особенностей протекания асинхронного режима. В противном случае возможна значительная «мёртвая зона» срабатывания устройства АЛАР на ВЛ [2]. «Мёртвая зона» срабатывания устройства АЛАР находится от шин ПС, на которой оно установлено, до конца участка контролируемой ВЛ.

Рекомендуется производить расчёты «мёртвых зон» на стадии проектирования и при формировании бланков параметрирования для настройки устройства АЛАР, в противном случае измерительные и пусковые устройства АЛАР почувствуют асинхронный режим в зоне его ответственности, а отключение выключателя не произойдёт по причине блокировки алгоритма.

Литература

1. **ГОСТ Р 55105-2019.** Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — С. 24.
2. **Антонов В.И. и др.** Исследование характеристик блокировки АЛАР по минимальному напряжению на комплексной плоскости. Динамика нелинейных дискретных электроэнергетических и электронных систем: материалы 12-й Всерос. Науч.-техн. Конф. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2017. — С. 391–369.

*Р.И. Рамазанова, студ.;
рук. Р.Р. Гибадуллин, к.т.н., доц. (КГЭУ, Казань)*

СРАВНЕНИЕ СМАРТ-СЧЕТЧИКОВ С ТРАДИЦИОННЫМИ

Все больше в мире стали использоваться смарт-счетчики с встроенной системой АСКУЭ, предназначенные для автоматизации учета и контроля электроэнергии. Принцип их работы: получение информации от электросчетчиков, сбор, обработка и хранение ее с помощью информационно-измерительных систем с возможностью передачи данных по каналам связи. В процессе исследования была сделана сравнительная характеристика функциональных возможностей традиционных и «умных» счетчиков (см. табл.).

Таблица 1. Сравнительная характеристика

| Факторы сравнения | Традиционная сеть | Активно-адаптивная сеть |
|--|--------------------------|--------------------------------|
| Автоматизированная система управления энергопотреблением со стороны ЭЭС, в т.ч. с вовлечением потребителей-регуляторов к участию в режимном управлении | нет | да |
| Автоматизированная система учета электропотребления | недостаточно | повсеместно |
| Система регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности | недостаточно | в нужном объеме |
| Местные (резервные) источники генерации | отсутствует | малая генерация и накопители |
| Наличие интерфейса связи с единым центром управления | нет | да |
| Интеллектуальные энергосберегающие технологии в системах электроснабжения, в т.ч. «умный дом» — «умный город» | нет | да |

По данным таблицы можно сделать вывод, что смарт-счетчики имеют значительное преимущество. А также опыт внедрения данных счетчиков показал, что расход потребляемой энергии и мощности существенно ниже. Таким образом, можно гарантировать потребителям следующие преимущества: экономия средств, удобство работы, точность данных и получение актуальной информации в реальном времени.

Литература

1. Глушко С., Пикин С. Технологическая концепция Smart Grid — облик электроэнергетики будущего // Энергорынок, 2009, № 11 (71), с. 68–72.
2. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid в электроэнергетике // Энергетическая политика, 2009, вып. 6, с. 54–56.

А.В. Галимова, асп.;
рук. А.А. Белогловский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТРИМЕРОВ В ОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВБЛИЗИ АНОДА И В СЕРЕДИНЕ РАЗРЯДНОГО ПРОМЕЖУТКА

Стримерный разряд используется, в частности, для очистки воздуха от газообразных примесей [1]. Поэтому существует интерес к его изучению, в частности, путём вычислительных экспериментов. В докладе [2] автор рассказала о результатах моделирования двухголовочных стримеров в воздухе в однородном электрическом поле (ЭП) вдали от электродов.

Рассмотрим стримеры, формирующиеся у электродов. В этом случае ЭП между электродом и стримером усиливается, его развитие ускоряется, одна из стримерных головок достигает электрода, её заряд нейтрализуется. Если стример появляется у анода, по его достижении, электроны отрицательной головки покидают промежуток, и в дальнейшем в нём развивается катодонаправленный стример. Здесь моделирование выполнено в однородном ЭП в воздухе при нормальных атмосферных условиях.

Рис. 1 иллюстрирует развитие разряда в ЭП с напряжённостью $E_0=7 \times 10^4$ В/см в промежутке длиной $D=0,3$ см. Приведены распределения $E(z)$ вдоль оси Oz , где достигаются большие значения E . Положительная головка движется к катоду ($z=D$), отрицательная — к аноду ($z=0$).

Оказалось, при сближении отрицательной головки с анодом напряжённость поля в ней достигает значений, близких к положительной головке.

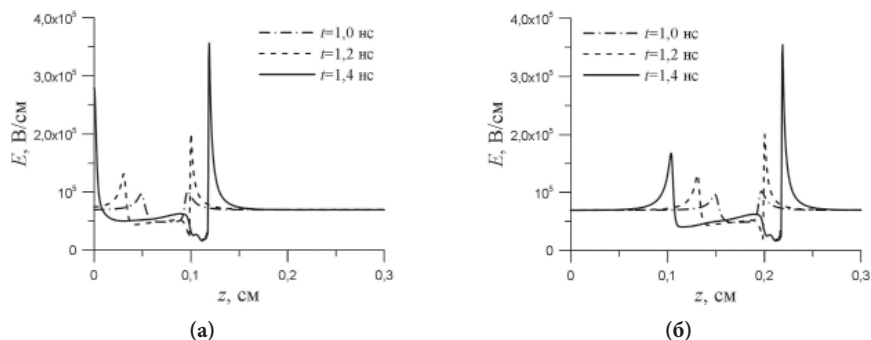


Рис. 1. Распределения напряжённости E для случаев, когда начальная лавина появляется на расстояниях 0,1 см (а) и 0,2 см (б) от анода

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. **Галимова А.В.** Изучение особенностей распространения стримеров в однородном электрическом поле // См. этот сборник.

*И.Н. Алёшин, студ.; Б.А. Сафронов, ст. преп.; А.А. Лебедев, к.т.н.;
рук. А.А. Лебедев, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ

В настоящее время происходит стремительное развитие и повсеместное внедрение цифровых подстанций (ЦПС), а их вычислительная способность становится достаточной для реализации новых подходов к обеспечению надежной и устойчивой работы энергосистемы в режиме реального времени. В результате чего возникает потребность в создании математических алгоритмов, способных увеличить быстродействие и уменьшить количество ложных срабатываний за счет экстраполяции мгновенных значений напряжения и тока, а также избежать больших погрешностей [1] вызванных насыщением сердечника трансформатора тока (ТТ) [2] и бросках тока намагничивания (БТН) [3].

Результатом работы стал код программы способный с достаточной точностью восстанавливать и прогнозировать реальные токи и напряжения в первичной цепи в режиме реального времени.

Алгоритм был протестирован на смоделированных осциллограммах трехфазной системы со следующими отличительными особенностями:

- Нормальный режим;
- Наличие высших гармоник;
- Наложение белого шума;
- Короткое замыкание (КЗ) без насыщения ТТ;
- КЗ с насыщением ТТ;
- БТН;

Также, код программы был перенесен на реальное микропроцессорное устройство [4] и протестирован в нормальном режиме.

Литература

1. Паздерин А.В., Мурзин П.В., Одинаев И.Н., Бобокалонов Ф.З. Направления исследований для повышения достоверности информации цифровой подстанции. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина 2019.
2. Кужеков С.Л. Обеспечение правильной работы микропроцессорных устройств дифференциальной защиты при насыщении трансформаторов тока // Известия вузов. Электромеханика. 2009. № 4. С. 12–18.
3. Лямец Ю.Я., Арсентьев А.П., Константинов А.М. Способ разграничения броска тока намагничивания и тока короткого замыкания. Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова.
4. Кузьмин И.Л., Иванов И.Ю., Писковацкий Ю.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты. Казань: КГЭУ, 2015. 310 с.

А.М. Быкова, м.н.с.;

рук. С.И. Хренов, к.т.н., доц.; Д.А. Матвеев, ст. преп.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЕВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Изоляция на основе пропитанных маслом бумаг и картонов используется в оборудовании с конца XIX века и очень хорошо себя зарекомендовала. Несмотря на это, единой физической теории пробоя в жидких или твердых диэлектриках до сих пор нет, а накопленные эмпирические данные по электрической прочности изоляционных конструкций не учитывают некоторые современные тенденции, такие как использование эмалированных проводов, изменение характеристик трансформаторного масла и технологии термовакуумной сушки и пропитки изоляции. В связи с этим целью настоящей работы являлось определение критериев электрической прочности слоевой изоляции обмоток силовых трансформаторов на современном уровне технологий. Актуальность работы обусловлена, в частности, проводимой в настоящее время работой по проектированию нового оборудования — трансформаторов отбора мощности от ВЛ 110–500 кВ, в которых применяются обмотки слоевого типа.

Для проведения исследований были изготовлены макеты слоевой изоляции [1] и разработана методика проведения испытаний. В докладе представлены полученные в ходе экспериментов значения начальных, критических и пробивных напряжений, паттерны ЧР в изоляции, результаты определения мест повреждений при пробое макетов. По результатам проведенных экспериментов были получены значения средних начальных, критических и пробивных напряженностей, сопоставлены паттерны ЧР с локализованными повреждениями. В ходе эксперимента по паттернам ЧР проводилась корректировка самого эксперимента — оценивалась дегазация изоляционной конструкции, появление короны в испытательной схеме и предпробойное состояние (т.е. появление критических ЧР). На основании полученных данных был сделан вывод о возможности повышения средней наибольшей рабочей напряженности электрического поля в слоевой изоляции герметичного оборудования.

Помимо этого, в ходе работы были сделаны следующие выводы:

- выдержка по времени менее суток между пропиткой и испытаниями изделий может привести к снижению напряженности появления начальных ЧР в несколько раз (вплоть до десяти);
- выдержка по времени менее суток между пропиткой и испытаниями изделий может привести к снижению пробивного напряжения до 15%.

Литература

1. Патент №2727079 от 17.07.20. Устройство для определения электрической прочности. А.М. Быкова, А.В. Жуйков, М.А. Кубаткин, Д.А. Матвеев, И.И. Никулов.

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

Р. И. Володкин, студ.; рук. М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗЛОЖЕНИЕ ПО ФРИЗЕ ДЛЯ ТРЁХФАЗНЫХ СИСТЕМ ТОКОВ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ В ТРЁХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

Мгновенную мощность трехфазной цепи полностью характеризуют суммарные активная и пульсирующая мощности:

$$p(t) = \sum_i P_i + p_n(t)$$

При наличии пульсирующей мощности система является неуравновешенной, а в случае её равенства нулю — уравновешенной [1]. Условие $p_n(t)=0$ выполняется при симметричности фаз нагрузок потребителя и источника, но последнее не является обязательным условием. Уравновешенность является важнейшим качеством, так как благоприятно влияет на работу генераторов и двигателей, обеспечивая отсутствие пульсации на валу генератора. В работе показано, что для выделения пульсирующей мощности трёхфазной цепи можно использовать линейное разложение Фризе для трехфазной системы токов, которое широко используется для однофазных цепей [2]. Пусть $\mathbf{u} = [u_A(t) \ u_B(t) \ u_C(t)]$, $\mathbf{i} = [i_A(t) \ i_B(t) \ i_C(t)]$, мгновенная мощность $p(t) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{i}^T$. Разложение Фризе для трехфазной системы токов $\mathbf{i} = \mathbf{i}_a + \mathbf{i}_p$, позволяет выделить активную суммарную мощность

$$P = \sum_i P_i = \mathbf{u} \cdot \mathbf{i}_a^T$$

и пульсирующую мощность $p_p(t) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{i}_p^T$ [3]. Рассмотрены примеры цепей выделения пульсирующей мощности для симметричных и несимметричных трёхфазных цепей, иллюстрирующие достоверность использования разложения токов на активные и реактивные составляющие по Фризе. Полученные результаты могут быть применены и для многофазных систем.

Литература

1. **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.
2. **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.
3. **Нос О.В.** Метод анализа и синтеза трёхфазных систем с активными силовыми фильтрами в гиперкомплексном пространстве [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.09.03: 17.12.2015: 15.12.2015 / Нос Олег Викторович. — Новосибирск, 2015.

Д.М. Кирьянов, студ.; рук-ли Е.М. Федорова, к.т.н., доц.;
М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЛИНИИ БЕЗ ПОТЕРЬ. СТОЯЧИЕ И БЕГУЩИЕ ВОЛНЫ

Традиционно при расчете комплексных токов и напряжений в однородных длинных линиях используют разложение на прямую и обратную волны (падающую и отраженную). В работе показано, как получить разложение комплексных токов и напряжений на бегущую и стоячую волны: $\underline{U} = \underline{U}_6(x) + \underline{U}_{ст}(x)$, $\underline{I} = \underline{I}_6(x) + \underline{I}_{ст}(x)$, используя уравнения линии и применяя теорему компенсации. При отсчете от конца линии, с произвольной нагрузкой $Z_{н}$ для составляющих бегущей волны $\underline{U}_6(x) = \underline{U}(0)e^{j\beta x}$, $\underline{I}_6(x) = \underline{U}_6(x)/Z_c$; для составляющих стоячей волны $\underline{U}_{ст}(x) = j \underline{N} \underline{U}(0)\sin\beta x$, $\underline{I}_{ст}(x) = \underline{U}_{ст}(x)/Z_k(x)$, где Z_c — волновое сопротивление линии без потерь, $\underline{N} = (Z_c - Z_{н})/Z_{н}$, $Z_k(x)$ — входное сопротивление линии в рассматриваемом сечении при условии, что линия короткозамкнута [1]. В таком случае в любом сечении выполняется соотношение для активной мощности $P(x) = P_6(x) \cdot k_6$, где k_6 — коэффициент бегущей волны, $P_6(x) = U_6(x) \cdot I_6(x)$. Показано, что такое разложение не дает «корректные» результаты при активно-реактивной нагрузке, следовательно, напряжение на нагрузке должно содержать вклад бегущей и стоячей волны, а не полностью определять бегущую волну.

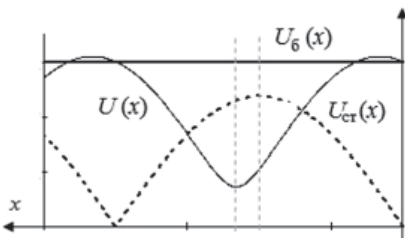


Рис. 1. Распределение действующего значения напряжения вдоль линии и действующих значений бегущей и стоячей волн при активно-индуктивной нагрузке

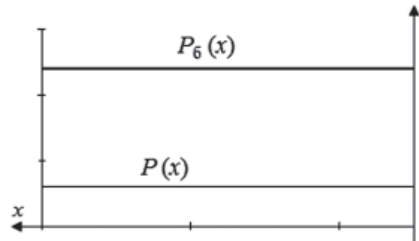


Рис. 2. Распределение активной мощности вдоль линии при активно-индуктивной нагрузке и соотношение для составляющих

Литература

1. Л.А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — 9-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1996. — 638 с.

*Е.Д. Смирнов, Д.А. Ромашкин, Д.А. Хнычев, студенты;
рук-ль М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИННОЙ ЛИНИИ КАСКАДНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

В докладе рассматривается задача нивелирования неточностей расчета при моделировании длинной каскадным соединением четырехполосников, а именно определения необходимого и достаточного числа звеньев при условии заданной точности расчета. Данная тема является актуальной, поскольку выбор шага дискретизации влияет на точность конечных расчетов и их соответствие реальным распределениям.

Проводилось моделирование длинной линии, работающей на частоте порядка 10 кГц, при произвольной нагрузке [1]. Так, при моделировании линии малым количеством звеньев, мы получаем дискретные значения напряжения и тока, не удовлетворяющие точности расчета, при этом избыточное число звеньев увеличивает погрешность и затраты времени на вычисления. Следовательно, число звеньев (шаг дискретизации) должно быть определено до проведения моделирования с учетом обеспечения требуемой точности (рис. 1). В докладе представлена методика определения необходимого и достаточного количества звеньев, на которые требуется разбить длинную линию при моделировании линии каскадным соединением четырехполосников и обеспечения заданной точности. Проведено исследование зависимости погрешности расчета от количества используемых разбиемых линии, даны рекомендации по выбору необходимого числа звеньев по заданной точности.

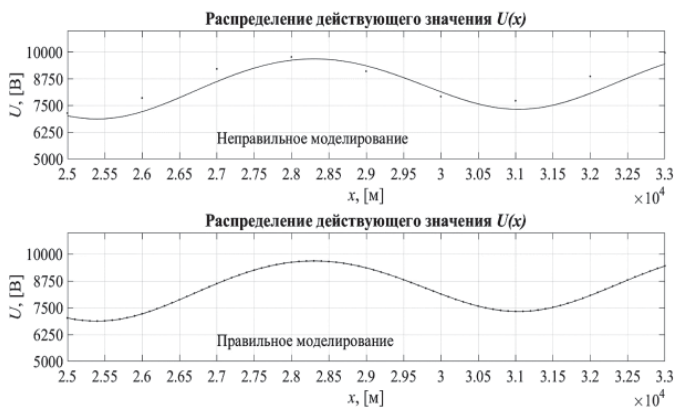


Рис. 1. Примеры моделирования каскадным соединением четырехполосников

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.

*С.Ю. Рой, В.А Чирков, студенты;
рук-ли Л.В. Алексейчик, д.т.н. проф.;
М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЛАБОРАТОРИИ ТЭМП

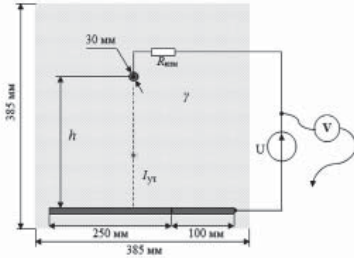


Рис. 1. Физическая модель в лаборатории ТЭМП

ной среде (учет краевого эффекта). Для исключения влияния краев провод надо располагать как можно дальше от них, но при этом нарушится условие $h \gg r_0$ и в расчетных формулах удельной проводимости (емкости) необходимо будет учитывать смещение электрической оси. С помощью компьютерного моделирования в среде ELCUT сделаны расчеты емкости (удельной проводимости) в ограниченной модели

- 1) при условии $h \gg r_0$, но с учетом краевого эффекта;
- 2) при условии $h \sim r_0$, но с учетом смещения электрической оси.

В результате исследований даны рекомендации по проведению физического эксперимента в лаборатории ТЭМП кафедры ТОЭ.

Литература

1. Лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы электротехники», электромагнитное поле / Под ред. В.В. Каратаева, М.: Издательство МЭИ, 2003. — 160 с.
2. **Поливанов К.М.** Теоретические основы электротехники, ч. 3. Теория электромагнитного поля, М.: Энергия, 1969. — 352 с.

М. Габдуллина, А.И. Василенко, студенты; рук-ли Д.В. Михеев к.т.н., доц.; М.П. Жохова к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

В работе показано как, используя матричную форму записи, рассчитывать составляющие полной мощности и составить уравнение баланса полной мощности для трехфазных электрических цепей. Рассмотрены условия появления мощности несимметрии как составляющей полной мощности.

Пусть $\underline{U} = [\underline{U}_A \ \underline{U}_B \ \underline{U}_C]^T$ и $\underline{I} = [\underline{I}_A \ \underline{I}_B \ \underline{I}_C]^T$ — вектор-столбец комплексных фазных напряжений и вектор-столбец комплексных фазных токов;

$$\underline{U}^* = \begin{bmatrix} \underline{U}_A^* & \underline{U}_B^* & \underline{U}_C^* \end{bmatrix} \quad \underline{I}^* = \begin{bmatrix} \underline{I}_A^* & \underline{I}_B^* & \underline{I}_C^* \end{bmatrix}$$

— вектор-строка комплексно-сопряженных фазных напряжений и вектор-строка комплексно-сопряженных фазных токов; $\mathbf{U} = [U_A \ U_B \ U_C]^T$, $\mathbf{I} = [I_A \ I_B \ I_C]^T$ — вектор-столбец действующих значений фазных напряжений и вектор-столбец действующих значений фазных токов.

Комплексная мощность $\underline{S} = \underline{I}^* \cdot \underline{U} = P + jQ$.

Полная или кажущаяся мощность

$$S = \sqrt{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2} \cdot \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2} = \sqrt{\left(\underline{U}^*\right) \cdot \underline{U}} \cdot \sqrt{\left(\underline{I}^*\right) \cdot \underline{I}}$$

геометрическая полная мощность $S_r = |S| = \left| \underline{U}^* \cdot \underline{I} \right| = \sqrt{P^2 + Q^2}$

арифметическая полная мощность $S_a = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{I}$.

Мощность несимметрии $H = \left| [\underline{U} \times \underline{I}] \right| = \sqrt{S^2 - S_r^2}$,

мощность амплитудной несимметрии $H_a = \left| [\mathbf{U} \times \mathbf{I}] \right| = \sqrt{S^2 - S_a^2}$,

мощность фазной несимметрии $H_\phi = \sqrt{H^2 - H_a^2}$.

Выполняется уравнение баланса $S^2 = \underbrace{P^2 + Q^2}_{S_r^2} + \underbrace{H_a^2 + H_\phi^2}_{H^2}$.

Литература

1. **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.

*Я.Д. Белановский, М.А. Губанов, А.В. Иванов, студенты;
рук. И.С. Козьмина, к.т.н., доц.;
Е.А. Илюшкина, ст. препод. (НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ 110 КВ И АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ ЕЕ НОРМАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ

При проектировании воздушных линий электропередач требуется проводить расчет напряженности электрического поля на уровне земли и на высоте человеческого роста для того, чтобы убедиться, что проектируемая линия удовлетворяет санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам [1] (нормам электромагнитной экологии).

Эта проблема возникает при сближении зон жилой застройки с уже существующими линиями электропередач, либо при прокладке в уже существующих коридорах. Актуальность проблемы повышается при использовании современных компактных конструкций воздушных линий с использованием самонесущего изолированного привода (СИП).

Для расчета напряженности электрического поля промышленной частоты по проведенным исследованиям был сделан вывод, что наиболее удобной в применении оказалась задача переменного электрического поля с гармонически изменяющимся во времени потенциалом [2].

В работе проведен анализ и расчет напряженности электрического поля вблизи промежуточной и анкерной железобетонных опор, а также стальной анкерно-угловой опоры.

Расчеты напряженности электрического поля с применением компьютерного моделирования, создаваемого трехфазной системой проводников с действующим значением потенциала 110 кВ, проведенные методом конечных элементов показали, что параметры электрического поля [3] во всех тестовых точках в несколько раз ниже значения допустимого по санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

Литература

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03.
2. **ELCUT** 6.3. Руководство пользователя. — ООО «Тор», Санкт-Петербург. 2017. — 295 с. URL:http://www.elcut.ru/free_doc_r.htm.
3. **А. Шваб** Электромагнитная совместимость. Пер. с нем. и 2-е изд., перераб и доп. / Под ред. Кужекина. — М.: Энергоатомиздат, 1998. 480 с.

*В.Н. Купцов, Т.Р. Масагутова, студ., М.В. Карпунина, асп.;
рук. Д.В. Михеев, к.т.н., к.э.н. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В СРЕДЕ MULTISIM

В настоящее время учебная деятельность зачастую связана с применением дистанционных образовательных технологий, что стало основной проблемой для проведения лабораторных работ по ряду дисциплин. Факторов несколько: отсутствие у студента компьютера, невозможность установки программного обеспечения по различным причинам, сложность современного ПО. Альтернативным способом выполнения лабораторных работ, связанных с моделированием линейных электрических цепей, является использование платформы Multisim Live [1].

Одним из главных преимуществ Multisim Live является возможность использования инструментов Multisim в браузере, без установки на компьютер. Такой выход особенно актуален студентам с низким уровнем компьютерной грамотности или при использовании другой операционной системы.

Пример линейной электрической цепи синусоидального тока, набранной средствами Multisim Live, представлен на рис. 1.

Multisim Live позволяет полностью повторить физические лабораторные работы [2] и лабораторные работы, предназначенные для выполнения в десктопных версиях других программ, и заключается в построении схемы моделирования, задания параметров режима моделирования и проведении этого моделирования, получения зависимостей или снятия данных с последующей обработкой результатов эксперимента.

Прорабатывается возможность выполнения всех лабораторных работ дисциплины «Теоретические основы электротехники», связанных с моделированием установившихся режимов в линейных электрических цепях, с использованием данной технологии.

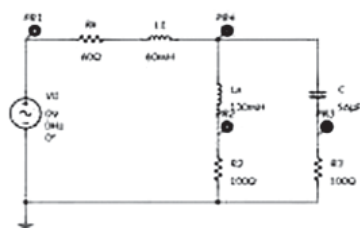


Рис. 1. Схема цепи

Литература

1. <https://www.multisim.com/>
2. Цепи постоянного и синусоидального тока: лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы электротехники» / Л.В. Алексейчик и др., Нац. исслед. ун-т «МЭИ»; ред. М.П. Жохова. М.: Изд-во МЭИ, 2017. 128 с.

*Д.С. Кольцов, Г.А. Окладников, Э.Ф. Баходиров,
Д.Е. Жохов, студ., М.В. Карпунина, асп.;
рук. М.П. Жохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ», Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В САПР ORCAD

В современных условиях инженеру-энергетику важно не только уметь пользоваться конструкторской документацией, иметь представление о сути расчета и анализировать его результаты, но и обладать навыками работы с программным обеспечением. Моделирование линейных электрических цепей является первым приближением к профессиональной деятельности будущих специалистов, поэтому к подготовке, выполнению и обработке измеренных значений уделяется особое внимание.

Одним из способов реализации эксперимента является проведение компьютерного моделирования. Это решение тем более актуально и в период дистанционного обучения, и в текущей обстановке всеобщей цифровизации.

Авторами предлагается познакомить студентов с системой автоматизированного проектирования (САПР) OrCAD [1] в рамках лабораторного практикума дисциплины «Теоретические основы электротехники» [2]. OrCAD имеет полный набор инструментов имитации, оптимизации и анализа схем. Одним из основных достоинств использования OrCAD является поддержка производителя, поскольку корпорация-разработчик Cadence Design Systems предлагает учебным заведениям вступить в академическую программу, т.о. предоставляя студентам возможность бесплатно и в полном объеме освоить современный продукт. К преимуществам также можно отнести наличие обучающих материалов как в виде пособий, так и в виде роликов от людей, работающих в соответствующих областях в компаниях разных стран [например, 3].

Работа заключается в оптимизации, преобразовании и актуализации методических пособий к выполнению лабораторных работ дисциплины «ТОЭ», посвященных моделированию режимов линейных электрических цепей, с использованием актуальной версии ПО для успешного освоения студентами учебного материала и получении базовых навыков работы с данной системой вкпе с изучением базовой дисциплины специальности.

Литература

1. <https://www.orcad.com/>
2. Цепи постоянного и синусоидального тока: лабораторный практикум по курсу «Теоретические основы электротехники» / Л.В. Алексейчик и др., Нац. исслед. ун-т «МЭИ»; ред. М.П. Жохова. М.: Изд-во МЭИ, 2017. 128 с.
3. https://www.youtube.com/watch?v=qUoKegF596k&list=PLDclr_SCaTAwUijYgKDOUQvv6TJRj6fXx

А.В. Шутов, асп.; рук. В.М. Геворкян, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДОБРОТНОСТЬ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА В ЭКРАНИРОВАННЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

Рассмотрены свойства резонансной структуры — открытый диэлектрический резонатор (ДР) в экранированной микрополосковой линии (МПЛ). Интерес к таким структурам возникает при формировании колебательных систем автогенераторов (КС АГ). При этом основная характеристика — эффективная собственная добротность при $\text{tg}\delta$ материала ДР и подложки МПЛ порядка 10^{-4} в медном экране составляет от 1 до 5 тысяч. Этого, как правило, достаточно для создания КС АГ с характеристиками фазовых шумов минус (80...90) дБн/Гц при отстройках на 10 кГц от центральной частоты генерации. При этом свойства подложки МПЛ мало влияют на эффективную добротность КС АГ, т.к. требуемые высокие значения коэффициента связи β с нагрузкой существенно снижают саму величину нагруженной добротности.

Иные требования к характеристикам ДР, МПЛ и экрана возникают при создании КС частотных дискриминаторов в устройствах фазовой подстройки частоты (ФАПЧ) с опорой на частоту ДР [1]. В этом случае коэффициент связи с нагрузкой β мал и основное внимание направлено на создание высокой нагруженной (эффективной собственной) добротности ДР. Современные керамические ДР [2] с $\text{tg}\delta > 5 \cdot 10^{-5}$ позволяют достичь значений нагруженной добротности от 12 до 13 тысяч. По расчетным оценкам [1] этого достаточно для снижения уровня фазовых шумов АГ с ФАПЧ на 20 дБн/Гц.

Численные эксперименты показали, что эффективная собственная добротность ДР может быть как больше, так и меньше величины $1/\text{tg}\delta$ [3], что зависит от соотношения энергии внешних полей ДР и внешних потерь. В экранированных структурах с диэлектрической подложкой, возникают дополнительные возможности по управлению запасенной энергией во внешних полях ДР, что важно при создании высокодобротных КС.

Литература

1. **Andrew Gorevoy.** A Low Noise Oscillator Based on a Conventional Dielectric Resonator *Microwave Journal*, November 2013, p. 84–94.
2. **Ненашева Е.А.** Состояние и перспективы развития материалов из микроволновой керамики для отечественной СВЧ аппаратуры // *Электронная промышленность*, 2014. № 2. с. 84–91.
3. **Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Шутов А.В.** Способ измерения добротности миниатюрных открытых диэлектрических резонаторов на сверхвысоких частотах. Измерительная техника, 2021. № 6, с. 39–46.

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

С.А. Кострюков, А.Р. Васильев, студ.;
рук. Ю.В. Гусева, доц., к.ф.-м.н. (ВФ МЭИ)

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ РОССИИ

Развитие отечественной электроэнергетики предполагает повышение ее конкурентоспособности, в том числе за счет применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, особенно, в условиях реализации концепции энергетической стратегии развития страны до 2035 года [1]. В условиях существования действующей единой энергосистемы, электрическая мощность которой составляет 245 ГВт, доля электрической энергии, генерируемая ветровыми электростанциями, равна порядка 0,138 ГВт.

Авторами рамках выполненных исследований проведен детальный анализ потенциала выработки электрической энергии на ветровых электростанциях в условиях объединенных энергетических систем. При анализе характеристик ветровых электростанций рассмотрены энергетические системы Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Центра, Северо-Запада и Юга. Отмечено, что по состоянию на 2021 год в России вклад ветровых электростанций в суммарную выработку электрической энергии составляет порядка 1380 млн. кВт·ч (0,13% от общего количества выработанной электроэнергии на территории страны).

Выполнен сбор и анализ технических характеристик отечественных ветровых электростанций. Выполнено сопоставление мощностных параметров и типов используемых на них генераторов. Результаты выполненного анализа данных применены для разработки методических подходов к обоснованию внедрения ветровых электростанций на территории Волгоградской области для снижения внешнего энергопотребления в условиях концептуального развития энергетической системы региона [2].

Полученные результаты исследований позволяют осуществлять проведение детального прогнозирования и оценок при разработке топливно-энергетического баланса региона и запланированных темпов ввода новых объектов генерации.

Литература

1. **Лукутин Б.В.** Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников. — Томск: ТПУ, 2015. — 130 с.
2. **Ляшков В.И.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. — Тамбов.: ТГТУ, 2003. — 96 с.

А.А. Чепига, асп., Е.Е. Корытченкова, студ.;
рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ», Москва)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ КПД ВЕТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С увеличением количества ветровых станций с установленной мощностью возникает ряд вопросов, требующих дополнительных исследований. Так при параллельной работе ветроэлектростанций с энергосистемой в ряде случаев из-за колебаний мощности, выдаваемой в сеть, не обеспечивается качество напряжения, которого требует ГОСТ 13109–97. Причиной этого может быть как нестабильность скорости ветра, так и конструктивные особенности ветроустановок [1]. Для решения этой проблемы требуется совершенствование системы регулирования и разработка методов математического моделирования режимов работы ветроустановок [2].

В данной работе на базе синхронного генератора с постоянными магнитами была синтезирована система регулирования ветрогенераторной установки, которая способна обеспечивать режим стабилизации мощности путем использования принципов векторного регулирования.

Результаты моделирования показали, что предложенная система регулирования, которая работала в режиме отбора максимальной мощности, при увеличении скорости ветра до уровня выше номинальной перешла в режим стабилизации мощности. В этом режиме скорость вращения генератора удерживается регулировкой pitch-угла, а стабильность активной мощности обеспечивается быстродействующей системой векторного регулирования момента генератора.

Предлагаемая в данной работе двухконтурная система стабилизации мощности ветроустановки, в которой функции регулирования скорости вращения ветроколеса и момента генератора распределены между системой pitch-регулирования и системой векторного регулирования соответственно, позволяет снизить уровень колебаний активной мощности генератора примерно на порядок по сравнению с концепцией прямого подключения синхронного генератора к сети, что, безусловно, положительно сказывается на качестве сетевого напряжения с точки зрения соответствия его требованиям ГОСТ.

Литература

1. **F. Briz, J.M. Guerrero, D. Reigosa, D. Fernandez, C. Lumbreras**, «Inductorless boost rectifier for small power wind energy converters», IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Sep. 2016, pp. 1–6.
2. **Erich Hau**. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. — 2nd edition. — Springer — Verlag Berlin Heidelberg, 2006. — 783 pag.

*К.В. Лодяная, студ.; рук. А.Н. Комков, к.т.н., доц.
(РГУНиГ НИУ имени И.М. Губкина, Москва)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЕТАР С ЦЕЛЬЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАНЦИИ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Мощность некоторых отдаленных объектов электроснабжения бывает не велика, а протяженность линий электропередач весьма существенна, вследствие этого капитальные затраты на строительство линий электропередач высоки. Также данные линии имеют большие потери. Вследствие этого было решено рассмотреть альтернативные источники питания. Использование таких альтернативных источников энергии, как ветер и солнце является молодым и перспективным способом получения электроэнергии. [2] В связи с этим особую актуальность имеет изучение работы электротехнических систем, содержащих различные виды ветроэнергетических установок и солнечных батарей в своей структуре.

Для исследования возможности и целесообразности получения электроэнергии с помощью альтернативных источников энергии была выбрана станция катодной защиты магистрального нефтепровода.

В зависимости от категории электроприемников необходима установка различного числа источников питания. Станция катодной защиты магистрального нефтепровода является объектом второй категории, следовательно, необходимо два источника питания. Но такие источники питания, как ветроэнергетические установки и солнечные батареи могут быть выведены из работы при неблагоприятных погодных условиях и прочих факторах. [1] Таким образом при использовании альтернативных источников питания необходимо устанавливать резервные источники.

Следовательно, необходимо выполнить анализ работы различных источников при различных погодных условиях. Реализовать данный процесс можно с помощью моделирования в специализированных программных комплексах.

В результате данной работы было получено, что использование ветроэнергетических установок и солнечных батарей в качестве источников питания на данном предприятии целесообразно.

Литература

1. **Бессель В.В., Мингалиев Р.Д.** Теоретические основы ветроэнергетики. — М.: РГУ нефти и газа имени М.М. Губкина, 2014. — 80 с.
2. **Сибикин, Ю.Д.** Альтернативные источники энергии. — М.: РадиоСофт, 2014. — 248 с.

*М.А. Бирюлин, К.Е. Денисов, студенты;
рук. А.К. Лямасов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЯРУСНОЙ ЛОПАСТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБРАТИМЫХ ГИДРОМАШИН ГАЭС

Использование обратимых гидромашин зачастую является наиболее экономически целесообразным вариантом в большинстве конфигураций ГАЭС. Чаще всего используются радиально-осевые насос-турбины. Такие машины обладают жестколопастной системой. По этой причине оптимальный режим КПД у радиально-осевых машин находится в довольно узком диапазоне. При этом работа в оптимуме возможна только в одном из режимов. Чаще всего это турбинный режим работы, так как стоимость пиковой электроэнергии выше стоимости энергии в часы провалов графика суточной нагрузки.

Описанная выше проблема заключается в разности напоров в турбинном и насосном режимах, вызванных гидравлическими потерями:

$$H_T = H_{ст} - h_T \quad (1)$$

$$H_H = H_{ст} + h_H \quad (2)$$

где $H_{ст}$, м — статический напор станции; H_T , H_H , м — напор в турбинном и насосном режимах соответственно; h_T , h_H , м — суммарные гидравлические потери во всем проточном тракте, включая потери в элементах гидромашин (подвод, рабочее колесо, отвод), соответственно в турбинном и насосном режимах. Из (1) и (2) получим:

$$H_H = H_T + (h_T + h_H). \quad (3)$$

Из (3) следует, что насосный напор обратимой гидромашин должен быть больше турбинного напора на суммарную величину гидравлических потерь в турбинном и насосном режимах. Теоретически, решением данной проблемы может стать введение многоярусных решёток лопастных систем (рис. 1). На данный момент многоярусные решетки исследовались исключительно у насосных агрегатов. В связи с этим проводится численный расчет гидродинамических процессов течения в рабочем колесе обратимой гидротурбины с многоярусной решеткой для выявления влияния такой лопастной системы на турбинный режим работы.

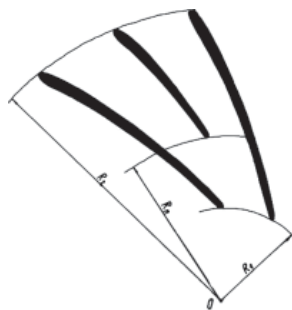


Рис. 1. Схема двухъярусной лопастной системы рабочего колеса

А.О. Куфтина, студентка; рук. А.К. Лямасов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ В ГИДРОМАШИНОСТРОЕНИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Выбор материалов является важнейшей областью машиностроения. В гидромашиностроении, учитывая разнообразие рабочих сред и условий, данная задача является особенно острой и актуальной. Химическая коррозия, кавитация, эрозия, температурная стойкость, износостойкость, обеспечение требуемой прочности и технологичности — вот неполный перечень задач, которые должен решать оптимальный выбор материального исполнения.

Развитие технологий и техники приводит к необходимости поиска оптимальных решений при выборе материального исполнения, поскольку создаются новые материалы и разрабатываются новые способы их обработки, увеличиваются диапазоны рабочих температур и давлений, появляется потребность в новых технологических процессах с новыми рабочими средами.

На сегодняшний день в вопросе выбора решений находят широкое распространение методы на основе нечеткой логики (нечеткого оценивания). Преимуществами данных методов является возможность их использования для решения задач в условиях неопределенности, неточности, неполноты и несогласованности исходных данных, возможность применения в качестве исходных данных качественных характеристик, а также возможность обобщенной оценки качества отдельно взятого варианта.

Рассматривается возможность применения для методик выбора материалов принципов нечеткой логики, а также анализ различных показателей материалов в применении к гидромашиностроению.

В настоящее время нечеткая логика является полноценной методикой управления и поиска оптимальных решений. Подразумевается проведение операции нечеткого логического вывода, основой которого является база правил, а также функция принадлежности лингвистических терм. Результатом является четкое значение переменной.

Выбор материалов в ГМС является многокритериальной задачей. Для формирования правил оптимизации необходимо определиться со свойствами, которые необходимо рассматривать. Важной особенностью здесь также является тот факт, что в ГМС используются как металлические, так и неметаллические материалы, в связи с чем необходим поиск обобщенных характеристик или способов дискретного учета. В рамках нечеткой логики учет дискретных значений возможен с помощью функций принадлежности одноэлементного множества.

*Н.А. Дробницкий, аспирант;
рук. А.В. Волков, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ОБЗОР НАУЧНЫХ ТРУДОВ ПО ТЕМЕ: «ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЛЬНО ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН»

Возрастающая неравномерность электрической нагрузки в общей сети ставит перед ГЭС, как одним из наиболее маневренных источников электроэнергии, задачу работать в самых разных гидродинамических режимах. Однако для ГЭС, оснащенных радиально-осевыми (РО) гидротурбинами (турбинами Френсиса), которые имеют высокий КПД, но в узкой зоне режимов, работа на неноминимальные нагрузки связана с трудностями и рисками. В этой связи повышение эффективности и надежности работы РО гидротурбин, при работе на нерасчетных режимах, является актуальной проблемой. В данном коротком обзоре собраны некоторые научные труды, по вышеупомянутой и смежной ей темам, которые опубликованы или будут опубликованы за последнее время.

В обзоре систематизированы и обобщены, направления, темы и результаты научных трудов различных авторов. На данный момент условно можно выделить 3 подхода к проблеме: Усовершенствование методов прогнозирования начала нестационарных явлений [1, 2]; внесение изменений в конструкцию рабочего колеса [3], работы, направленные на борьбу с вихревым жгутом [4].

Данный обзор является отправной точкой в предстоящем исследовании оправданности использования гетерогенных лопастных систем в деле расширения зоны эффективной эксплуатации радиально-осевой гидротурбин. Обзор проводится с целью ознакомления с различными подходами к проблеме эффективности радиально осевых турбин, возможного использования наработок других авторов.

Литература

1. **Weiqliang Zhao, Alexandre Presas, Monica Egusquiza, David Valentín, Eduard Egusquiza, Carme Valero** Increasing the operating range and energy production in Francis turbines by an early detection of the overload instability // Measurement. 2021. № 181 109580. 11 p.
2. **Quang Hung Pham, Martin Gagnon, Jérôme Antoni, Antoine Tahan, Christine Monette** A proposal for the dynamic strain interpolation on hydroelectric turbine runner // Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 11 p.
3. **O. Gusak, M. Cherkashenko, O. Potetenko, A. Gasiyk, K Rezvaya** Improving reliability and efficiency of hydraulic turbines // Conference Series: The Electrochemical Society. 2022. № 214. 12 p.
4. **Arthur Favrel, Nak-joong Lee, Tatsuya Irie, Kazuyoshi Miyagawa** Design of Experiments Applied to Francis Turbine Draft Tube to Minimize Pressure Pulsations and Energy Losses in Off-Design Conditions // Energies. 2021. № 14 3894. 25 p.

*М.О. Шейкин, аспирант.;
рук. С.Н. Черкасских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДАХ

Гидро — и пневмоприводы нашли широкое применение в гибких автоматизированных производствах, робототехнике, машиностроении. Развитие производственных систем приводит к ужесточению предъявляемых к приводам требований по быстродействию, точности, энергоэффективности, что возможно обеспечить только при тесной интеграции силовой и управляющей частей.

Современные гидро- и пневмоприводы характеризуются существенной нелинейностью характеристик. Это приводит к тому, что оптимальные параметры регуляторов в системах управления будут разными в различных режимах. Кроме того, обычно отсутствует полная информация как о самой системе, так и об объекте управления, что не позволяет достичь оптимальных характеристик при эксплуатации.

В этих условиях перспективным оказывается подход, основанный на использовании интеллектуального управления, предусматривающий использование регуляторов на базе нечеткой логики, нейросетей и пр. Данное решение позволяет повысить быстродействие и точность приводных систем [1]. Кроме того, использование нейроуправления позволяет в процессе работы накапливать информацию о специфике функционирования конкретного устройства и использовать ее для улучшения эксплуатационных характеристик. Появляется возможность использования дополнительных датчиков, фиксирующих сопутствующие процессы.

Использование интеллектуального управления на базе нечеткой логики было реализовано для управления системой beam & ball, содержащей шар (ball) и желоб (beam). Пневмоприводная система обеспечивала балансирование шара в определенном положении путем изменения угла наклона желоба. Проведённые экспериментальные исследования показали улучшение переходного процесса при использовании нечеткого регулятора по сравнению с традиционными вариантами.

Литература

1. **Д.В. Шилин, А.М. Грибков.** Разработка алгоритма управления трехкоординатным пневматическим манипулятором на базе нечеткой логики // Вестник уфимского государственного авиационного технического университета. — Уфа: 2021. — С. 127–135.

Д.В. Фоменко, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ МИКРОГЕНЕРАЦИИ

В условиях действующего закона о микрогенерации для интересующегося возможной реализацией проекта инвестора возникает настоящая проблема в выборе оборудования, представленного на рынке, с различными характеристиками, параметрами и условиями работы, не говоря уже об основном вопросе — правильной оценке эффективности инвестиций.

В качестве решения видится классификации максимально большого количества имеющегося на рынке оборудования по особым параметрам [1]. Для удобства сравнения альтернативных вариантов оценку необходимо проводить по удельным величинам на 1 кВт мощности.

Для проведения оценок необходимо рассчитать данные о годовой выработке электроэнергии, анализ которой должен выполняться с учётом параметров оборудования и климатических условий, характерных для заданного местоположения проекта.

С помощью данного проекта, с использованием функционала библиотеки PVLIB, можно определить множество статей необязательных расходов и оптимизировать стоимость проекта заданной мощности.

На рис.1 приведены графики изменения вырабатываемой максимальной мощности СЭС, построенной на солнечных модулях разных производителей (Zytech Solar и Aavid Solar), для одной заданной точки. Для полноты анализ также рекомендуется использование других библиотек солнечных модулей, таких как Sandia [2].

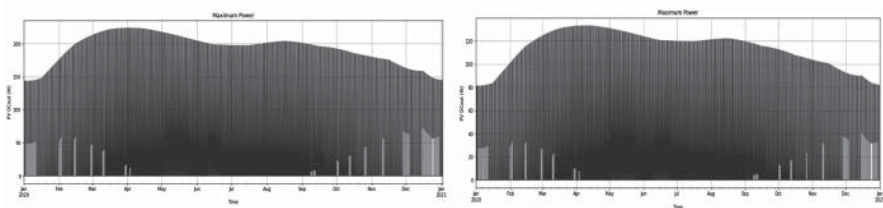


Рис. 1. Мощностная характеристика модуля «Zytech Solar ZT275P» и «Aavid Solar ASMS 165P»

Литература

1. **Dobos, A.P.** (2012). An Improved Coefficient Calculator for the CEC Photovoltaic Module Model. ASME Journal of Solar Energy Engineering. 6pp. Volume 134 No. 2.
2. **King, D.L.; Boyson, W.E.; and Kratochvil, J.A.** (2004). Photovoltaic Array Performance Model. 41 pp.; Sandia Report No. 2004-3535.

В.А. Долматов, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕВЫШЕНИЯ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

На базе объединенной лаборатории МЭИ находится учебно-экспериментальная СЭС, включающая в себя несколько разнотипных солнечных модулей (СМ): монокристаллические и мультикристаллические. В эксперименте рассматривается каскад из восьми мультикристаллических СМ, соединённых последовательно. Номинальная мощность каждого СМ — 200 Вт, номинальная мощность каскада — 1,6 кВт.

Основным показателем оценки эффективности работы сетевых СЭС, является коэффициент использования установленной мощности (КИУМ). В постановлении правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 указано минимальное значение данного коэффициента, при котором возможно субсидирование генерации электроэнергии [1].

Для оценки выполнения требований данного постановления по величине КИУМ на базе СЭС МЭИ была разработана система мониторинга параметров режима работы электростанции.

Система мониторинга позволяет получать мощностные характеристики, показатели выработки и КПД системы. В ходе работы были выявлены превышения выдаваемой мощности (1,95 кВт) в сравнении с номинальной (1,6 кВт). Данные значения длительностью до 3–5 минут при большой периодичности могут повлиять на величину КИУМ.

Для анализа этих явлений применена метеостанция, расположенная в непосредственной близости от СЭС. Из данных, полученных с инверторного оборудования и метеостанции, выведены зависимости влияния погодных условий на выработку энергии выше номинальных значений оборудования. Анализ позволил выявить, на сколько номинальные значения могут быть превышены в обычных условиях и каким образом это влияет на оборудование системы генерации, в частности, инверторного оборудования, и на качество выдаваемой в сеть электроэнергии.

Литература

1. Постановление правительства РФ от 28 мая 2013 года N 449 Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электрон. ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/499023293> (дата обращения 20.11.2021 г.)

М.А. Бирюлин, К.Е. Денисов, М.А. Никитин, С.А. Риффель,
студенты; рук. А.А. Дружинин, ассистент кафедры ГГМ
(НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ПРИ ИСТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ТРУБКУ

Результаты, полученные в ходе физического эксперимента по исследованию истечения жидкости через трубку, сравниваются с численными результатами, полученными с помощью расчетных пакетов Ansys и FlowVision. На основе сравнительных результатов сформулированы выводы о проведенном опыте. Выполнение опытов на лабораторных стендах позволяет наглядно продемонстрировать, как будет протекать исследуемый процесс.

Эксперимент проводился на испытательном стенде «Гидростатика» лаборатории гидроаэромеханики НИУ «МЭИ». В опыте использовались два пьезометра, трубка длиной 1 м, бак с водой, сосуд объемом 2,7 л и секундомер. Изменение величины гидравлических потерь прямо пропорционально изменению расхода, поэтому изменяя сопротивление с помощью задвижки в ходе эксперимента, уменьшался расход, также, как и потери. Во время проведения опыта было выполнено несколько замеров, соответствующих разным значениям расхода и получено 6 реперных точек. Время наполнения сосуда фиксировалось при помощи секундомера. Задача эксперимента заключалась в получении численных значений потерь.

Как известно, пьезометры дают наиболее точный результат измерения, поэтому для сравнения с этими результатами с использованием расчетных формул были оценены потери по известным значениям расхода жидкости и площади трубки, а также — в среде Ansys и FlowVision. Эти результаты расчета истечения жидкости представлены на рис. 1.

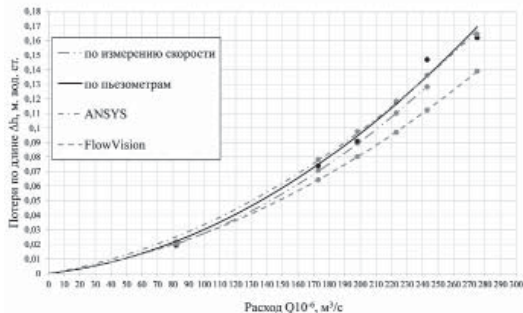


Рис. 1. Графическая зависимость величины потерь от расхода $\Delta h=f(Q)$

Заметим, что использование программы Ansys позволяет получить результаты с высокой точностью. Такая точность обусловлена возможностью построения густой сетки, чего не удалось добиться в FlowVision. Погрешности расчета для каждой точки по скорости составили 4–6%, в среде Ansys — менее 1%, в среде FlowVision — 6–18%.

Н.В. Сычёв, студ.; рук. Г.В. Дерюгина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ПРОЕКТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕТЕВОЙ ВЭС НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Достоверность проектных показателей ВЭС основывается в первую очередь на достоверности исходной информации по ветровым ресурсам в точке расположения ВЭС на высоте оси ветроколеса ВЭУ. Достоверные исходные данные могут быть получены только непосредственно при помощи измерений на площадке ВЭС на высоте оси ветроколеса, которые, как правило, на ранних стадиях проектирования отсутствуют. Обычно на ранних стадиях проектирования ВЭС исходные данные по ветровым ресурсам получают из различных баз данных (БД), которые в одних и тех же точках из различных БД могут существенно отличаться периодом наблюдения, источником получения данных, на какой высоте и т.д. Например, они могут быть получены либо в результате измерений на площадках метеостанций (например, БД «Расписание Погоды» на высоте 10 м), либо на основе ассимиляции данных спутниковых наблюдений (например, БД «NASA» на высоте 10 м и 50 м). На ранних стадиях проектирования в мировой практике для моделирования скорости ветра на высоту оси ветроколеса ВЭУ, как правило, используют различные математические модели вертикального профиля (ВПВ), справедливые для рассматриваемой территории, или моделирование проводят в соответствии с ИЕС61400-1:2005 [1].

На примере проекта сетевой ВЭС на территории Республики Татарстан были проведены расчеты по оценке влияния достоверности исходных данных на проектную выработку ВЭС. Проведенные исследования выявили, что на ошибку проектной выработки ВЭС в первую очередь, влияет достоверность данных из информационного источника, в качестве которых были рассмотрены БД «NASA» и БД «Расписание Погоды», принятая в качестве достоверного источника. Было выявлено, что средние скорости ветра по данным БД «Nasa» выше (до 40%), чем по данным БД «Расписание Погоды», что приводит к ошибке определения годовой выработки ВЭС по данным БД «NASA» до 34% в сторону завышения. Также было выявлено, что погрешность определения проектной выработки $\delta Э$ пропорционально зависит от погрешности определения показателя степени δm_0 по зависимости: $\delta Э = 1,01 \delta m_0 + 4,4$ с коэффициентом детерминированности $R^2 = 0,98$.

Литература

1. А.Г. Васьков, Г.В. Дерюгина, Н.К. Малинин и Р.В. Пугачев, Ветроэнергетика, Москва: МЭИ, 2016.

Д.А. Мочалов, асп.; рук. М.Г. Тягунов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РАБОТАЮЩИХ ГИДРОАГРЕГАТОВ В СРЕДЕ MICROSOFT OFFICE EXCEL

Законодательство в электроэнергетике и ВХК значительно ограничивает возможность собственника гидроэлектростанции в одностороннем порядке изменять режим работы объекта. Поэтому внутростанционная оптимизация режимов работы станции является единственным легитимным способом повышения эффективности работы станции.

Задача оптимизации состава работающих гидроагрегатов (ГА) требует осуществить перебор всех возможных комбинаций мощностей, номеров ГА, найти вариант с экстремальным значением параметра эффективности. При этом необходимо соблюсти накладываемые на расчет ограничения.

В качестве инструмента для решения экстремальных задач применяется надстройка «Поиск решения» — компонент Microsoft Excel, с помощью которого можно найти оптимальное решение задачи с учетом ограничений.

В качестве исходной информации заданы расходные характеристики ГА (турбины типа ПЛ) некоторой ГЭС. Необходимо определить в соответствии с заданием по мощности состав работающих агрегатов по критерию минимального совокупного расхода. Полагается, что рекомендуемые зоны работы ГА различны. Таким образом, решается система уравнений [1]:

$$Q_{\Sigma}^{N_{ГЭС}} = \sum_{i=0}^n Q_{a i}(N_{a i}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$N_{ГЭС} = \sum_{i=0}^n N_{a i}, \quad (2)$$

$$N_{\min i} \leq N_{a i} \leq N_{\max i}, \quad (3)$$

где $Q_{a i}$ — расход i -го ГА, м³/с, $N_{a i}$ — мощность i -го ГА, МВт, n — общее количество ГА, шт., $N_{\min i}$ ($N_{\max i}$) — нижняя (верхняя) граница зоны рекомендуемой работы i -го ГА, МВт.

Интерфейс программы выполнен в табличной форме (таблица 1).

Таблица 1. Интерфейс предлагаемой модели в общем виде

| $N_{ГЭС}$, МВт | $N_{a 1}$, МВт | $N_{a 2}$, МВт | ... | $N_{a n}$, МВт | $Q_{\Sigma}^{N_{ГЭС}}$, м ³ /с | Δ_N , МВт |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----|-------------------------------|--|------------------|
| ВВОД | ВЫВОД | ВЫВОД | ... | ВЫВОД | ВЫВОД | ВВОД |
| | $Q_{a 1}$, м ³ /с | $Q_{a 2}$, м ³ /с | ... | $Q_{a n}$, м ³ /с | | |
| | ВЫВОД | ВЫВОД | ... | ВЫВОД | | |

Модель прошла апробацию посредством аналитического расчета автора и дает соответствие теоретических положений ее работы действительности [1].

Литература

1. Мочалов Д.А. Разработка математической модели системы оптимизации состава работающих гидроагрегатов и её использование на примере Волжской ГЭС: выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация). НИУ МЭИ, Москва, 2021.

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: Чахеева Екатерина Ивановна

А.С. Салюкова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ)

ПРОЯВЛЕНИЯ ДРЕВНЕРИМСКОЙ ЭСТЕТИКИ В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

Древний Рим, несомненно, является важнейшим аспектом в развитии искусства и дизайна. Античность заложила такое понятие, как технэ, означающее ремесло, науку и искусство, что почти соответствует понятию «дизайн» в современном смысле. Римский «дизайн» проявлялся не только в интерьере, но также в вывесках магазинов и различных мастерских, в которых первоначально использовался текст и только потом изображения с различными узорами, что уже свидетельствует о зарождении медиадизайна. Медиадизайн сегодня включает в себя разработку всех визуальных коммуникаций, начиная от логотипов и сайтов, заканчивая играми и мультфильмами. В нынешнем дизайне не так часто используется стиль Древнего Рима, но в этой статье мы разберём его проявление в современном медиадизайне, как фундамента визуальной культуры вообще.

Рассмотрим логотипы, существующие и используемые в медиапространстве. На многих образовательных сайтах можно увидеть изображение античных капителей и колонн, как символов науки. Адвокатские бюро часто используют в своих логотипах капители, которые можно толковать как надёжность и устойчивость.

Важно отметить также культовые мультфильмы серии Астерикс и Обеликс, основанные на французских одноимённых комиксах, и мультфильм «Трагедия чело́века» и «Гладиаторы Рима», события которых разворачиваются в Древнем Риме.

В третьем примере мы разберём компьютерные игры. Здесь большое разнообразие жанров, в котором представлен стиль и эпоха Древнего Рима: экономическая, градостроительная стратегия для постройки городов, экшн и игры про гладиаторов, стратегия в реальном времени и др. В таких играх как нельзя лучше отображены и затронуты все важные аспекты античности. Вся визуальная коммуникация ярко представлена в таких играх как «Gladiator: Sword of Vengeance», «Glory of the Roman Empire» и «Ryse: Son of Rome». Также важно отметить логотипы игр в стиле Древнего Рима, в которых большую роль играет лаконичный строгий стиль шрифта с засечками, колонны и капители в сочетании с лавровыми венками. Таким образом, несмотря на то, что стиль Древнего Рима лишь иногда упоминается в узких направлениях медиасреды, важно отметить: именно в Риме зародилась реклама собственного продукта, которая является основополагающим элементом современного медиадизайна.

В.А. Ляхов, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ)»

ГОТИКА В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

Двадцать первый век — это век технологий. Технологии полностью заполнили нашу жизнь. Мы живём в цифровой среде, общаемся, учимся и, конечно же, созерцаем прекрасное. Созерцание и создание прекрасного в современном связано, в первую очередь, с такой областью как дизайн. Более того, дизайн сегодня, это, прежде всего, медиадизайн. Медиадизайн охватывает сегодня практически все сферы жизни человека, он касается интерьера, стиля, но, в первую очередь, занимается цифровым пространством. При этом цифровая среда медиадизайна подчиняет себе все уже существующие представления о прекрасном, которые выражаются, в первую очередь, в стилях. Любой исторический стиль сегодня апроприируется медиадизайном.

То есть современная медиасреда не только продуцирует собственный стиль, но захватывает исторические стили, и включает их с себя как свою часть.

Проследим этот процесс на примере стиля готика.

Давайте посмотрим, как готика сегодня проявляется в компьютерных играх. В основном, в компьютерных играх изображается готическая это архитектура. Большое количество современных игр в качестве места действия выбирают Средние века. Деревни, замки в готическом стиле очень хорошо раскрывают суть этого направления, этого времени, прогуливаясь по локациям, можно буквально окунуться в ту или иную эпоху, посмотреть на архитектурные сооружения под тем или иным углом — снизу, сбоку и даже сверху.

В фильмах и мультфильмах также очень хорошо передаётся настроение готического стиля. Живые актёры в костюмах эпохи готики, большие залы, лестницы, канделябры и жирандоли. Всё это создает медиа среду, стилистически насыщенную готикой.

Также готический стиль прослеживается в некоторых современных элементах айдентики, в оформлении сайтов, интернет-магазинов. При этом, историческая готика заменяется современным представлением о готике: образы становятся более мрачные и лишённые глубокого духовного содержания. Однако стилистика и общее настроение готики могут сохраняться.

Таким образом, сфера медиадизайна может очень чётко передать то настроение, те образы, которые характерны для той или иной эпохи, в том числе и выбранной нами готики, особенно если это живая и динамичная картина.

С.А. Карпешина, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ)

ОТСЫЛКИ К РЕНЕССАНСУ В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

В этой статье мы рассмотрим, как отразилась Эпоха Возрождения на реалиях современного медиадизайна. Медиадизайн — это проектирование медиапространства, начиная с разработки сайтов и заканчивая рекламой на телевидении. Каждый дизайнер пытается преподнести свой проект в лучшем свете, многие из них ссылаются на исторические стили. Рассмотрим, как Ренессанс проявляется в медиадизайне и проявляется ли он вообще. Первое, на что следует обратить внимание, это логотипы. Например, логотипы Versace и «Барное золото». У торговой марки Versace присутствуют декоративный орнамент, отсылка к мифу о медузе Горгоне, портрет как основа композиции, детализация элементов и позолоченность. «Барное золото» показывает строгость и простоту формы с некоторой утонченностью и изяществом элементов. Все вышеперечисленные черты явно иллюстрируют эпоху Ренессанса.

Второе, на чем хочется сделать акцент, это коллажи и арты с изображением скульптур Возрождения. Как правило, подобные работы выкладываются на Behance. Они являются абстракцией с использованием геометрии, в некоторой степени абсурдные. Единственное, что относит их к Ренессансу — скульптуры этой эпохи. Сюда же следует отнести и тенденции в высокой моде. Так, Dolce & Gabbana в 2018 году выпустили коллекцию одежды, на которой красуются известные полотна эпохи Возрождения (Тициан, Рафаэль Санти и др.). Помимо этого, бренд This is Not Clothing тоже выпустил коллекцию, которая отражает дух той поры. На принтах мы видим работы Леонардо да Винчи, Микеланджело. Третье — это игры. Гейм-дизайнеры не раз ссылались на эпоху Ренессанса. Однако игра «The Procession to Calvary», создателем которой является Джо Ричардсон, полностью создана в этой стилистике. В визуальном ряде этой работы используются картины эпохи Возрождения и мотивы того времени.

Следует отметить, что не во всех аспектах медиадизайна имеются отсылки к Ренессансу. Подобное сложно было увидеть в сайтах, приложениях, видеорядах. Однако не стоит утверждать, что заимствования как такового нет. Возможно, идут уже косвенные ссылки, разглядеть которые может только высокий ценитель искусства. В заключении стоит отметить, что, несмотря на отдаленность того времени, эпоха Возрождения продолжает царить и в современных реалиях. Дизайнеры нашего времени стараются с осторожностью подходить к заимствованию и использованию элементов Ренессанса, дабы не осквернить дух той эпохи и в достойном свете показать величественность того времени.

И.Б. Голов, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ)»

АМПИР В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

Дизайн стремительно развивается, и с каждым годом мы видим проявление все новых тенденций или переосмысление старых. В какой-то мере дизайн сейчас находится в кризисе, но это не мешает нам наслаждаться сотнями оригинальных проектов. В данной статье мы рассмотрим проявление стиля ампир в современном медиадизайне.

Изучая данный вопрос, мы можем заметить, что проявление стиля ампир в современном медиадизайне не является чем-то редким. Мы можем сказать даже больше, данный стиль является одним из самых массовых в использовании, уступая, конечно, некоторым другим. Например, дизайну в стиле ретро или в стиле футуризм. Также нужно понимать, что данный стиль можно легко перепутать с проявлениями «чистой античности» и стиля Возрождения. Это происходит потому, что во всех этих стилях зачастую используются схожие элементы, античные узоры, скульптуры или иллюстрации, изображающие известных персонажей мифов и легенд.

Чаще всего стиль ампир можно заметить в айдентике компаний. Самым ярким примером можно назвать логотип банка «Тинькофф», он выполнен в виде герба с военной атрибутикой. Таким образом компания пытается выделиться на рынке и показывает свою надежность и долговечность клиентам, что для банка является очень важными аспектами его деятельности. К тому же ампир часто используется в фирменном стиле государственных учреждений, театров, музеев, ресторанов и баров премиум сегмента. Также, мы можем заметить массовое проявление данного стиля в разработке дизайна упаковок алкоголя премиум класса. Например, дизайн бутылки и этикетки винтажного вина Colier. Утонченная форма бутылки с роскошными объемными элементами, стилизованными под украшения знатных французских дам эпохи Наполеона, а также глубоким черным цветом и серебряными деталями, создают образ продукта премиум класса. К тому же, нужно отметить тренд на создание иллюстраций в стиле ампир. Огромное количество плакатов, баннеров, журнальной графики создается в этом стиле. Такой дизайн получается оригинальным, выделяется на фоне продукции конкурентов, привлекает внимание утонченностью, торжественностью и настраивает человека на определенное эмоциональное состояние.

В заключение еще раз скажем, что стиль ампир проявляется практически во всем медиадизайне, возможно, не в полной его форме, но его элементы можно проследить от UI/UX дизайнера до дизайнера сайтов, мерча, гейм дизайнера, и конечно же, фирменных стилей и иллюстраций.

Е.С. Телегина, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУМЭИ)»

СТИЛИСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РОКОКО В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

Сегодняшний день невозможно представить без медиадизайна, ведь он проник во все сферы нашей жизни, но как это произошло? Все дело в истории, а конкретно в истории дизайна, ведь она является базой, на которой строится все наше окружение, включая нас самих. В нашей статье мы рассмотрим, как стиль рококо повлиял на современный медиадизайн. Чтобы лучше прочувствовать это влияние, немного разберем сам стиль рококо.

Стиль зародился во Франции в начале XVIII века и распространился по всей Европе, достигнув своего пика в Германии. Придя на смену барокко, он являлся как его логическим результатом, так и антиподом. Легкость и игривость, законченность форм и разрушение плоскостей комнат — все это хорошо гармонирует в рококо. Сам стиль имеет орнаментальную направленность, даже само название происходит от сочетания двух слов «барокко» и «рокайль». Зная значение первого слова, можно задаться вопросом, что такое второе? Это декоративный мотив, напоминающий по форме раковину, который является основой орнамента в этом стиле, он-то и будет играть большую роль в становлении рококо в современном дизайне.

Загронув тему орнамента, нельзя забывать и об интерьере в целом. Преобладание светлых тонов — розового, зеленого, голубого, и большое количество белых деталей делает этот стиль таким узнаваемым. Также нельзя забывать о зеркалах, которые наполняют все комнаты, в сочетании с позолотой и богатой лепниной потолка создают утонченную атмосферу, присущую только Рококо.

Все эти узнаваемые черты стиля можно проследить в современном медиадизайне. Орнаментику, и в частности рокайль, используют в логотипах, а цветовая палитра рококо, с его пастельными цветами, хорошо вписалась в современный минимализм с его изобилием приглушенных оттенков. Этого не скажешь про интерьер — пышно украшенные орнаментом комнаты не привлекают современного человека, но использование в комнатах зеркал, как настенных вставок, витиеватой мебели с позолотой, фарфор и другие аксессуары отсылают нас к такому интересному стилю как рококо.

Ю.О. Жданова, студ.; рук. А.В. Панкратова, к.ф.н., доц. (НИУ МЭИ»)

ПРОЯВЛЕНИЕ ТЕМЫ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ В СОВРЕМЕННОМ МЕДИАДИЗАЙНЕ

В данной статье мы рассмотрим, как проявляются темы Средневековья и романский стиль в современном медиадизайне. Медиадизайн можно грубо определить, как разработку цифрового контента для публикации на различных площадках и в различных контекстах. Это достаточно широкое определение, поэтому в рамках статьи мы выделим из него работу с визуальной составляющей контента, где она несет смысловую нагрузку наравне с текстом.

Дальше обращаемся конкретно к нашей теме. За счет того, что искусство той эпохи было носило религиозный характер и занимало относительно небольшой период в истории мирового искусства (около 300 лет), оно не оставило такого следа как, например, готика или ампир. Но изредка мы можем наблюдать черты и принципы романики в современном медиапространстве.

Принципы средневекового искусства, условность приемов и стилизация форм прошли через всю историю искусства и сейчас влияют на развитие медиадизайна. Стремление к минимализму, упрощению для лёгкости восприятия информации и в то же время изменение объектов с целью привлечь внимание к наиболее важной части контента, всё это характеризует массовый дизайн, который будет легко понять каждому пользователю.

Одной из черт той эпохи была стилизация животных. Не только изменение отдельных из частей, но кардинальная модификация вплоть до создания чудовищ. Именно с фресок и скульптурных рельефов того периода до нас дошли всевозможные химеры, василиски и прочие гибридные существа. До нашего времени сохранился документ, написанный виднейшим деятелем католической церкви XII века Бернардом Клервосским, который не мог сдержать своего возмущения, видя такие образцы народной фантазии в святом месте.

Но именно благодаря богатству фантазии романских художников и скульпторов создатели современных мультфильмов и видеоигр в жанре фэнтези располагают таким разнообразием фантастических существ.

Таким образом, стилистика Средних веков проявляется в современном медиадизайне ситуативно, скорее как общий подход к изображению, чем в качестве конкретного стиля.

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.А. Дергачев, студ.; рук. Д.А. Силаев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Устройства генерации, передачи и аккумулирования электроэнергии были разработаны около 200 лет назад. За это время они претерпели незначительные идейные изменения. Эти устройства надежны и производительны. На данный момент все чаще появляется потребность в мощных, экономичных и эффективных устройствах. Для дальнейшего улучшения технологий электроэнергетики уже недостаточно повышения качества материалов и изготовления. Толчок развитию может дать использование новых физических принципов. [1] Данная работа освещает использование нового физического принципа — явления сверхпроводимости. Использование данного явления позволяет как сконструировать совершенно новые устройства, так и модернизировать уже существующие. [2] Возможности, которые возникают благодаря такой модернизации дают приоритет государству в военной отрасли. Внедрение происходит в первую очередь для повышения обороноспособности [3].

Сверхпроводимость — это свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения. Уникальность сверхпроводимости заключается в проявлении квантового эффекта в макроскопических масштабах. Благодаря этому возможно получение характеристик устройств выше, чем у существующих. В работе проводится анализ перспективных направлений развития нынешней материально-технической базы с использованием сверхпроводимости [4].

Рассмотрены основные трудности, с которыми придется столкнуться при использовании сверхпроводимости в энергообеспечении специальных объектов. [4]

Литература

1. **Будущее энергетики** — сверхпроводниковые электрогенераторы, трансформаторы и линии электропередачи // Электронная публикация: <http://elektrik.info/main/fakty/55-budushhee-jenergetiki.html>
2. **Солимар Л., Уолш Д.** Лекции по электрическим свойствам материалов // Издательство: Мир, 1991.
3. **Комнатнотемпературные сверхпроводники России** (инновационный меморандум национального мегапроекта) // Екатеринбург, 2011.
4. **Сверхпроводимость** в электроэнергетике: настоящее и будущее // Электронная публикация: <http://elektrik.info/main/fakty/445-sverhprovodimost-v-elektroenergetike-nastoyashee-i-budushee.html>

*А.А. Иванов, Е.Ю. Голохвастов, студенты;
рук. Д.А. Силаев, ст. преп. (НИУ «МЭИ», Москва)*

БЕСКОНТАКТНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ЕМКОСТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Улучшить показатели надежности автономных источников электрической энергии бортовых систем электроснабжения (БСЭ) можно путем применения бесконтактных асинхронных генераторов (АГ) с емкостным возбуждением. Стабилизация напряжения в таком генераторе осуществляется путем регулирования реактивной мощности, поступающей от конденсаторов. Такая система стабилизации напряжения бесконтактного АГ обеспечивает стабильное значение напряжения на выводах генератора при изменениях частоты вращения привода в достаточно широком диапазоне ($\pm 50\%$ от $\omega_{ном}$).

Среди преимуществ бесконтактных асинхронных генераторов можно выделить:

- 1) простоту системы включения генераторов на параллельную работу;
- 2) относительная простота защиты генераторов от токов короткого замыкания и перегрузки путем их развозбуждения;
- 3) возможность оптимизации БСЭ по массогабаритным показателям, надежности, ресурсу и другим технико-экономическим показателям.

Генераторы БСЭ работают на больших частотах вращения, что требует применения эффективных систем охлаждения, но позволяет повысить электромагнитные нагрузки, а также снизить номинальное скольжение и повысить коэффициент полезного действия генератора за счет уменьшения относительной длины статора (от 0,8–1,2 до 0,5–0,55).

Применение бесконтактных АГ позволяет выполнить основные функциональные узлы на основании модульного принципа построения. Это обеспечит стабилизацию параметров электроэнергии, защиту генератора при авариях и компенсацию реактивной мощности.

Литература

1. **О.В. Григораш, С.В. Божко и др.** Модульные системы гарантированного электроснабжения: монография. — Краснодар: КВВАУЛ, 2005.
2. **С.В. Божко, О.В. Григораш, А.Ю. Попов и др.** Автономные источники электроэнергии: монография. — Краснодар: филиал Военного УНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2012.

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

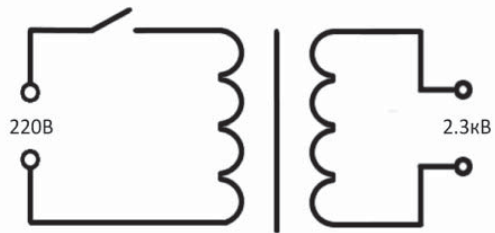
*М.И. Офицеров, А.А. Эрдман, студ.; рук. С.Н. Золина
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ»МЭИ» в г. Конаково)*

ДЕМОНСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ГАЗАХ. ЛЕСТНИЦА ИАКОВА

Актуальность данной темы состоит в исследовании электрического разряда в газах, его возникновения, ионизации газа, его технического применения. Изучение плазмы очень важно. Открытие четвертого состояния вещества способствовало созданию газоразрядных источников света, развитию машиностроения, созданию плазменной резки и обработки металла и пр.



(а)



(б)

Рис. 1. Лестница Иакова (а) и её схема (б)

Газовый разряд и ионизацию может продемонстрировать прибор «Лестница Иакова», которой самостоятельно изготовили студенты филиала МЭИ-КЭК. Схема и внешний вид прибора представлены ниже.

В результате работы над проектом «Демонстрация электрического тока в газах. Лестница Иакова» была подробно изучена эта тема, успешно применены теоретические знания для объяснения наблюдаемых физических явлений и изготовления своими руками демонстрационного прибора «Лестница Иакова». Работа позволяет наглядно изучить газовый разряд и показать практическое применение знаний физики.

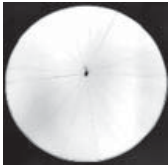
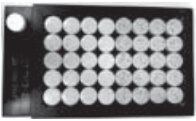
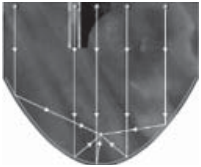
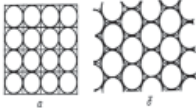
Литература

1. **Райзер Ю.П.** Физика газового разряда. М.: «Наука» Физматлит, 1987.
2. **Степанов И.Б.** Оборудование и методы импульсно-периодической ионной и плазменной обработки материалов. 2010.
3. **Батенин В.М. Климовский И.И., Лысов Г.В., Троицкий В.Н.** СВЧ-генераторы плазмы. Физика, техника, применение. М.: Изд-во: Энергоатомиздат, 1988 год, 225 стр.

О.С. Дьячков, В.А. Баканов, студ.; рук. С.Н. Золина
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ" МЭИ" в г. Конаково)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Математика является главным инструментом естественных наук и техники. Для наглядного изучения некоторых тем математики, студентами филиала МЭИ-КЭК, были самостоятельно изготовлены следующие демонстрационные приборы:

| Названия прибора | Площадь круга | Параболический бильярд | Плотнейшая упаковка кругов (сфер) |
|--|---|---|---|
| Демонстрационная модель изготовленная студентами |  |  |  |
| Расчетный чертёж |  |  |  |
| Описание и расчетная формула | <p>Прибор демонстрирует методологию вычисления площади круга с помощью разбиения фигуры на бесконечное множество равных секторов и их сложения в виде прямоугольника.</p> $S = \pi r^2$ | <p>В действии прибора отражено свойство параболы собирать лучи, параллельные ее оси в единой точке — фокусе.</p> $y^2 = 2px, p > 0$ | <p>Задача плотной упаковки равных сфер является одной из проблем комбинаторной геометрии. Здесь отражена практическая модель для демонстрации данной задачи</p> $x = \pi / (3\sqrt{2}) \cong 0.74048$ |

Литература

1. David Eugene Smith, Yoshio Mikami. A history of Japanese mathematics. — Chicago: Open Court Publishing, 1914. — С. 130–132. — ISBN 978-0-87548-170-8
2. Александров П.С. Парабола // Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. — М.: Наука, 1979. — С. 69–72. — 512 с.
3. Слоэн Н. Дж. А. Упаковка шаров // В мире науки. — 1984. — № 3. — С. 72–82.

Секция 62

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА СРЕДНЕЙ АЗИИ

Electric power industry of Central Asia

Председатель секции:

к. т. н. Исмоилов Фирдавс Олимшоевич — и. о. доцента Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими

Секретарь секции:

к. т. н. Ниёзи Сироджиддин Ражаббоки — ассистент Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими

*Р.А. Рахимов, асп.; Ф.И. Ёрмахмадзода, студ.;
рук. Ш.Дж. Джураев, к.т.н. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)*

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА ДУШАНБЕ

Во многих современно развитых городах особое внимание уделяется к вопросу организации грамотного уличного освещения. Важность организации уличного освещения заключается в том, что наружное освещение — это залог безопасности пешеходов и автомобилистов. Если раньше для уличного освещения городов использовались традиционные ДРЛ, люминесцентные лампы, сейчас широко используются ртутные лампы низкого давления, светодиодные, ДНаТ, которые являются источниками высших гармонических составляющих тока и напряжения.

В работе приведены результаты моделирования для оценки качества электроэнергии в электрических сетях наружного освещения г. Душанбе. Объектом исследования являются электрические сети наружного освещения г. Душанбе. Современная система электроснабжения наружного освещения города Душанбе состоит из трансформаторных подстанций, шкафов питания, линий электропередач и осветительных установок.

Для полноценной оценки качества электроэнергии в электрических сетях наружного освещения города Душанбе в программном комплексе Matlab/Simulink была смоделирована данная сеть. Результаты моделирования верифицированы с результатами инструментального измерения, которые были проведены в апреле 2021 года. На основе моделирования предложено; для нормализации качества электроэнергии необходимо равномерно распределять нагрузки между фазами (для снижения уровня несимметрии), и установка фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) (для компенсации высших гармонических составляющих тока). В результате моделирования получено следующее:

- после равномерного распределения нагрузки между фазами значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} уменьшился до 0,67% (раньше был 8,2%), а коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} уменьшился до 0,31% (раньше был 7,14%).
- после установки ФКУ значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_U уменьшился до 1,27% (раньше был 10,87%).

*М.К. Джаборов, асп.; Ф.И. Ёрмахмадзода, студ.;
рук. Ш.Дж. Джураев, к.т.н. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЮЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

При передаче и распределении электроэнергии (ЭЭ) от электрических станций до потребителей, часть производственной ЭЭ будет расходоваться в этом процессе. С точки зрения физики при передаче ЭЭ по электрическим сетям, максимальный уровень потерь должен составлять не более 10%. С другой стороны, в электрических сетях значение коэффициента реактивной мощности не должен превышать 0,4, так как в противном случае увеличивается потеря мощности и ЭЭ.

В работе приведены результаты инструментального измерения показателей качества ЭЭ (ПКЭ) филиала ОАО «Передающие электрические сети» и ОАО «Распределительные электрические сети» г. Бохтар, также оценка влияния электрооборудования электрических сетей на качество ЭЭ и необходимость обеспечения качества и снижения потерь ЭЭ в электрических сетях. Количества и мощности подстанции и протяженности линии ОАО «Передающие электрические сети» и ОАО «Распределительные электрические сети» г. Бохтар приведены соответственно на рисунках 1 и 2.

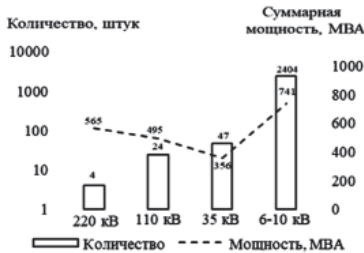


Рис. 1.

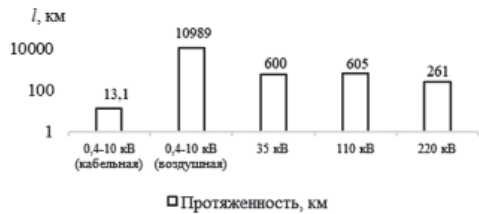


Рис. 2.

Для оценки фактического уровня ПКЭ в рассматриваемых электрических сетях за период с 23 октября по 14 ноября 2021 года был произведен инструментальный контроль качества ЭЭ. В качестве средства измерения использовался прибор типа FLUKE. Длительность наблюдения в каждой точке не менее 7 суток. Результаты измерения показали, что верхняя граница медленного изменения напряжения ($\delta U_{(+)}$) достигает +13,21 %; значение коэффициента реактивной мощности ($\text{tg}\varphi$) составляет до 1,15.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют определить уровень помех и потерь ЭЭ и выбрать оптимальный способ их снижения.

*Л.К. Ашурбеков, магистр; рук. Х.С. Сангов, к.т.н.,
ст. преподаватель (ТТУ имени академика М.С. Осими)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ И ГЕНЕРАЦИИ ВЭС

Ставя задачу обеспечить каждый дом Мургабского поселения Горно-Бадахшанской автономной области электроэнергией — независимым источником энергоснабжения, следует ориентироваться только на местных энергоресурсов (преимущественно альтернативных) работающих автономно или параллельно с сетью. Применение альтернативных источников энергоснабжения означает сокращение сетей, повышение надежности электроснабжения, решение проблем дефицита электрической энергии в горном поселке Мургаб. Все эти случаи требуют определения расчетной нагрузки поселка и отдельной семьи [1]. Потребители Мургаба можно классифицировать в виде групп семей с численностью 3, 5, 10 человек [2]. Для этой классификации посредством Гауссовой статистики определены максимальная и минимальная потребляемая мощность, а также уровень электропотребления произвольной семьи (численность 3–10 человек) и поселка в целом (рис. 1). Суть предлагаемой методики заключается в случайном выборе уже известных показаний счётчика для семьи заданной численности из предложенного массива данных. Результаты исследования послужат основой для согласования режимов генерации на ветроэлектрической установке и потребления электрической энергии, а также периодов выявления дефицита и избытки вырабатываемой электрической энергии, что определит выбор, по необходимости, дополнительного генерирующего или аккумулирующего оборудования.

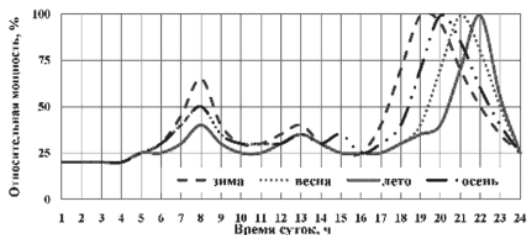


Рис. 1. Суточный график электропотребления коммунально-бытовых потребителей Мургабского поселения

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. **Сангов Х.С., Исмоилов Ф.О.** Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2020: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2020. С. 403–413.

*Дж. Рахмонзода, магистр; рук. Х.С. Сангов, к.т.н.,
ст. преподаватель (ТТУ имени академика М.С. Осими)*

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В Таджикистане наибольшее количество децентрализованных регионов расположено в горных районах с приемлемыми климатическими условиями — Мургабский район (МР) Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО). В высокогорном МР, где достаточно большое количество потребителей электрической энергии, ветроэлектрические установки (ВЭУ) могут находить широкие применения в горных условиях, где централизованное электроснабжения очень затруднительно или малоэффективно. До сих пор в отдельных населённых пунктах МР ГБАО полностью отсутствует электрическая энергия [1]. Была проведена оценка применения ряда мощностей ВЭУ, не ограничиваясь фактически потребляемой мощностью, но и на перспективу, с оценкой применения ВЭУ высокой единичной мощности, учитывая прогнозы долгосрочного развития Мургабского поселения. На момент выбора ВЭУ фактическая нагрузка на поселок не известна, поэтому ветрогенератор можно подобрать в интервале как большой, так и малой мощности. Во время останковки, не использования ВЭУ, электроснабжение будет осуществляться через АВР сеть, через блок синхронизации с сетью 0,4 кВ. Были подобраны ВЭУ единичной мощностью 10, 50, 150 и 2100 кВт, проведены расчеты с использованием среднесуточной скорости ветра по данным ближайшей метеостанции, с пересчетом на высоту оси вентилятора турбины. Расчеты показали низкую окупаемость ВЭУ малой и средней мощности (20...30 г.) и снижение срока окупаемости установок на 2,1 МВт до 11 лет. Учитывая малую достоверность данных о скорости ветров, и поскольку фактическая мощность ВЭУ имеет кубическую зависимость от скорости ветра, проведенные расчеты ориентировочно характеризуют эффективность применения ВЭУ на других обследованных поселках [2]. Однако, для принятия решения о применении ВЭУ на конкретном объекте, в том числе в МР ГБАО, следует провести мониторинг фактических скоростей ветрового напора в предполагаемом месте установки и на предполагаемой высоте оси ветротурбины.

Литература

1. Сангов Х.С., Исмоилов Ф.О. Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2020: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2020. С. 403–413.
2. Сангов Х.С., Цырук С.А., Михеев Д.В., Шарафеддин К.Ф. Экономическая эффективность использования ветроэнергетической установки для электроснабжения отдаленных сельских потребителей Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2019. Под общей редакцией Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. 2019. С. 330–344.

*Л.К. Ашурбеков, магистр; рук. Х.С. Сангов, к.т.н.,
ст. преподаватель (ТТУ имени академика М.С. Осими)*

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Потенциал применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) связанный либо с мерами господдержки, либо с возникновением ситуации, при которой ВИЭ становятся более конкурентоспособными чем традиционная генерация, с каждым годом увеличивается. Высокая производительность солнечных коллекторов, длительный срок службы и простота использования и обслуживания, делает системы для приготовления горячей воды привлекательными. В ходе проведения энергетического обследования подбирался объект для пилотного проекта применения вакуумного солнечного коллектора. Основной задачей было выбрать объект, график потребления электроэнергии у которого был бы максимально приближен к графику солнечной активности [1]. Наиболее полно этому соответствует хозяйственно бытовые комплексы в поселке «Мургаб», который находится в Мургабском районе, Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан, примерно в 300 км к югу от Хорога. Географическое расположение поселка «Мургаб», позволяет эффективно использовать солнечную энергетику среднегодовая инсоляция в месте расположения объекта составляет 130–210 Вт·ч/м² поверхности. Цель внедрения солнечной энергетической системы в поселке «Мургаб» — уменьшение доли затрат на производство тепловой энергии, используемой в целях теплоснабжения и горячего водоснабжения, в настоящее время для получения горячей воды в котельных поселка сжигается привозной каменный уголь и дорогостоящее дизельное топливо. Для гарантированного обеспечения горячим водоснабжением в объеме 5,5–10 м³ необходимо смонтировать солнечных коллекторов марки AUROSTEP (VFK 135 D) в количестве 130 шт. общей площадью 326 м², монтаж производится на крыше АБК и на площадках в непосредственной близости от него [2]. Годовая выработка тепловой энергии составит 19Гкал. При создании единой гелиосистемы с 326 м² поверхностью солнечных коллекторов, целесообразно применять бак аккумулятор емкостью 20 м³. Расчеты показали приемлемый срок его окупаемости.

Литература

1. **Сангов Х.С.** Применение солнечных фотоэлектрических установок в системах электроснабжения сельских потребителей (на примере удаленных регионов Республики Таджикистан). Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2020. № 4 (52). С. 30–38.
2. **Лозенко В.К., Лопатин Д.В., Михеев Д.В.** Сравнительный технико-экономический анализ генерирующих установок на базе ВИЭ (на примере республики Казахстан) // Микроэкономика. — 2015. — № 5. — С. 77–88.

*Дж. Рахмонзода, магистр; рук. Х.С. Сангов, к.т.н.,
ст. преподаватель (ТТУ имени академика М.С. Осими)*

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе исследуется возможность солнечных фотоэлектрических установок для электроснабжения Рудника «Якджилва» в Мургабском районе (МР) Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Республики Таджикистан (РТ). Производится оценка климатических условий местности, а также исследуется возможность установки солнечных батареи на данном руднике [1]. Выбирается необходимое оборудование и производится расчет количества солнечных установок и их мощности. Выполняются технико-экономические расчеты, по результатам которых оценивается эффективность установки солнечных фотоэлектрических систем. Основной задачей было выбрать объект, график потребления электроэнергии у которого был бы максимально приближен к графику солнечной активности. Наиболее полно этому соответствует хозяйственно бытовой комплекс на Руднике «Якджилва» МР ГБАО РТ. Для его электроснабжения была подобрана фотоэлектрическая система (ФЭС). Расчет реальной мощности солнечных панелей производился с учетом таблицы солнечной инсоляции. Исходя из удобного расположения объекта на возвышенности, для эффективного использования, было подсчитано количество солнечных модулей, инверторов и другого оборудования, подключаемого к ним. Произведен расчет их фактической мощности, которая напрямую зависит от солнечной активности и в среднем составляет 80% от номинальной. Расчет годового количества энергии, получаемой от солнечных панелей, показал, что ФЭС могут составить весомую долю в электроснабжении Рудника «Якджилва». Для оценки экономической эффективности был рассчитан срок окупаемости установленного оборудования. Расчеты показали неприемлемый срок её окупаемости [2]. Однако учет тенденций снижения стоимости самих солнечных панелей и другого вспомогательного оборудования, а также повышения цен на электроэнергию, делают данные источники электроэнергии эффективными уже в ближайшей перспективе.

Литература

1. Сангов Х.С., Исмоилов Ф.О. Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2020: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. 2020. С. 403–413.
2. Сангов Х.С., Цырук С.А., Михеев Д.В., Шарафеддин К.Ф. Экономическая эффективность использования ветроэнергетической установки для электроснабжения отдаленных сельских потребителей Республики Таджикистан. В сборнике: Фёдоровские чтения — 2019. Под общей редакцией Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. 2019. С. 330–344.

*F.B. Umarova, J.N. Yunusov, master, scientific dir,
S.R. Niyoz, Ass. (TTU named after ak. M.S. Osimi)*

BASIC ASPECTS OF METHODS FOR CALCULATING ELECTRIC POWER LOSS IN ELECTRIC NETWORKS

A significant indicator of the technical condition of electrical networks and the level of their operation is the amount of electricity losses and the tendency of its change. Since the cost of electricity losses is one of the components of the electricity tariff.

An increase in electricity losses in electric grids is a direct financial loss for power grid companies. The solution to the problem of the magnitude of power losses depends on the correct choice of the method for calculating power losses [1–3].

Taking this into account, in this work, the main aspects of the methods for calculating the loss of electricity in electrical networks were considered. First, the types of calculations of electricity losses are considered, such as: prospective calculations, operational calculations and retrospective.

Further, the classification of methods for calculating the loss of electricity was analyzed. Each method was considered separately, such as the method for assessing losses based on generalized information about the circuits and network loads, the method of calculated days, operational calculations, the method of average loads and the method of the number of hours of greatest power losses [4].

Thus, as a result of the analysis of the main aspects of the methods for calculating the loss of electricity in electrical networks, conclusions are drawn and those methods are proposed that have the smallest error and are the most significant during calculations of the loss of electricity in electrical networks.

Литература

1. **Chorshanбиеv S.R.** Improving the efficiency of the functioning of electric networks with distributed solar generation by reducing technical losses of electricity (on the example of the Republic of Tajikistan): dis. ... Cand. technical, sciences. Moscow: Moscow Power Engineering Institute, 2019.
2. **Shvedov G.V., Sipacheva O.V., Savchenko O.V.** Losses of electricity during its transport through electrical networks: calculation, analysis, regulation and reduction / Ed. Yu.S. A piece of iron. — M.: Publishing house MEI, 2013. — 424 p.
3. **Zhelezko Yu.S., Artemiev A.V., Savchenko O.V.** Calculation, analysis and regulation of electricity losses in electrical networks. M.: Publishing house NTs ENAS, 2004. — 280 s.
4. **Order** of the Ministry of Energy of the Russian Federation of December 30, 2008 No. 326 “On the organization in the Ministry of Energy of the Russian Federation of work on the approval of standards for technological losses of electricity during its transmission through electric grids.”

Б.Р. Раджабзода, магистр.;
рук. А.К. Киргизов, к.т.н. доцент (ТТУ имени акад. М.С. Осими)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Фотогальванические модули обычно оцениваются производителями в стандартных условиях испытаний с солнечным излучением 1000 Вт/м², температурой элементов 25°C и солнечным спектром 1,5. Параметры, необходимые для ввода фотоэлектрических модулей, зависят от метеорологических условий местности. Климатические условия непредсказуемы из-за случайного характера их возникновения. Эти неопределенности приводят либо к завышению, либо к недооценке выхода энергии от фотоэлектрических модулей. Сообщалось о завышении до 40% по сравнению с номинальной выходной мощностью фотоэлектрических модулей [1]. Растущий спрос на фотоэлектрические технологии привел к исследованию различных аспектов его компонентов, от технологии ячеек до моделирования, оптимизации размеров и производительности системы [1]. Моделирование фотоэлектрических модулей — один из основных компонентов, отвечающих за правильное функционирование фотоэлектрических систем. Моделирование позволяет понять взаимосвязь тока, напряжения и мощности фотоэлектрических модулей [2].

Выходная мощность солнечной панели как было сказано выше зависит от многих факторов и их взаимосвязью между собой и для его определения подходит стохастическое моделирование. Стохастические методы основаны на вероятностном характере прогнозирования и приблизительно точно подходят для прогнозирования и получения энергии от возобновляемых источников. Вероятность расчета точной выходной мощности установок ВИЭ определяется объемом входных данных, используемых при прогнозировании. В итоге учитывая все возможные внешние факторы стохастическую модель выходной мощности солнечной панели можно выразить следующим образом:

$$P_{\text{sto.СЭС}} = \left(1 - \alpha \cdot \left(1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P} \right) \right) P_{\text{устСЭС}} = \left(1 - \alpha \cdot \left(1 - \frac{(\bar{I}^2 + D_I)R}{P} \right) \right) P_{\text{устСЭС}}$$

Полученное выражение позволяет уточнить мощность солнечной панели с учетом флуктуации тока и температуры на заданном интервале времени.

Литература

1. **W. Durisch, D. Tille, A. W. orz, and W. Plapp**, "Characterisation of photovoltaic generators," *Applied Energy*, vol. 65, no. 1–4, pp. 273–284, 2000.
2. **Обухов С.Г.** Оценка эффективности регионального использования возобновляемых энергоресурсов / С.Г. Обухов, Б.В. Лукутин, М.И. Яворский. — Технологии ТЭК. Москва — 2003. — № 2. — С. 65–71.
3. **Sichilalu S, Xia X.** Optimal energy control of grid tied PV–diesel–battery hybrid system powering heat pump water heater. *Solar Energy*. 2015; 115:243–254.

А.С. Каландаров, Ш.Х. Субхонов, магистр.;
рук. А.К. Киргизов, к.т.н., доцент (ТТУ имени акад. М.С. Осими)

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТКОМ-А В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения в силу их характера сопряжено с некоторыми трудностями как с технической, так и с управленческой точки зрения.

Как показывает опыт эксплуатации у подавляющего большинства электроприемников $\text{tg}\varphi_{\text{ном}} = 0,6-0,8$, т.е. на 1 кВт активной мощности необходимо генерировать 0,6–0,8 кВАр. Гидрогенераторы даже в удачном месте не могут обеспечить реактивную мощность, так как современные синхронные генераторы производятся с низкими значениями коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi = 0,2 \div 0,35$, что означает, что на электростанциях номинальной (или более высокой) мощности напряжение может поддерживаться только в том случае, если на 1кВт активной мощности не более 0,2–0,35 кВАр реактивной мощности. Также следует отметить, что СЭС и ВЭС не генерируют реактивную мощность, и это усугубляет ситуацию. В связи с этим возникает необходимость исследования дополнительных устройств, обеспечивающих питание системы реактивной мощности. Такие устройства называются компенсаторами. Это могут быть конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы и двигатели, а также статические источники реактивной мощности (STK и STATCOM). При резких изменениях нагрузки применение STK и STATCOM необходимо для стабилизации реактивной мощности. В качестве реальной проблемы рассматривается электрическая сеть, состоящая из 46 узлов напряжением 35 кВ. Выражение для нахождения оптимальной мощности в матричной форме:

$$Q_{\text{кв}} = (Q_i) + (R-1 * Q_j * RT),$$

Оба они выделяются на фоне узловых сопротивлений проводимости Z.

После установки СТАТКОМА мощностью 1500 кВАр напряжение на узле 9 повышается в нем до $U = 31,2$ кВ, а на узле 14 — до $U = 33,0$ кВ. Суммарные потери активной мощности составили $\Delta P = 0,81$ МВт.

Таким образом, общее снижение потерь активной мощности составило 26%.

Литература

1. **Manusov, V.Z.** Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewable and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan) / V.Z. Manusov., A.K. Kirgizov., J. Ahyoev. // E3S Web of Conferences. Volume 6 (2016) International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016) Yekaterinburg, Russia, May 19, 2016.
2. **Панченко, Т.В.** Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/ под ред. Ю.Ю. Тарасевича. // Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 с.

*Ф.Д.Мамадюсупов, студ.;
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ»

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором составляют основу электропривода различных технологических механизмов и являются основными потребителями реактивной мощности на промышленных предприятиях. Поэтому оценка потребления ими реактивной мощности в зависимости от различных факторов при натуральных испытаниях в лабораторных условиях, для студентов представляет большой интерес.

Основным элементом лабораторного стенда является система двигатель-генератор. Как в качестве двигателя, так и генератора, используются асинхронные машины одинаковой мощности. Асинхронный генератор служит нагрузкой асинхронного двигателя и имеет регулируемую конденсаторную батарею, позволяющий изменить ток возбуждения генератора. Нагрузкой генератора служат нагревательные элементы с возможностью изменения нагрузки ступенями от минимального значения до максимального значения.

Данная лабораторная работа, наряду с другими лабораторными работами по дисциплине ЭПП, составляют единый лабораторный комплекс, смонтированный на одном общем универсальном лабораторном стенде. Таких стендов в учебной лаборатории 4. Они позволяют фронтальное проведение лабораторных работ одновременно с половиной учебной группы. Однако они имеют существенный недостаток, который заключается в большом потреблении электрической энергии при дефиците мощности в стране в зимний период. Номинальная мощность двигателей составляет 2,2 кВт, а установленная мощность учебной лаборатории составляет 8,8 кВт. При продолжительности лабораторных занятий 4 часа, расход электроэнергии составляет 35,2 кВт ч. В лаборатории проводятся занятия 5 дней. Расход электроэнергии составляет 176 кВт ч. Необходимо уменьшить номинальные мощности двигателей и генераторов. Однако при малой мощности электродвигателей сложно подобрать регулируемую мощность КБ для возбуждения двигателей. Путём подбора выбрана оптимальная номинальная мощность системы двигатель-генератор равным 500 Вт и соответствующая ёмкость КБ, заменены измерительные приборы. При получении равноценных результатов расход электрической энергии в 4 раза меньше, т.е. составляет 44 кВт ч за неделю. Уменьшается стоимость всего лабораторного стенда.

Н. Нури, студ.;

рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ»

Основными источниками реактивной мощности в системе электроснабжения промышленных предприятий являются конденсаторные установки (КУ). Они находят широкие применения для индивидуальной, групповой и централизованной компенсации реактивной мощности, начиная с ввода светильников с газоразрядными лампами до централизованной компенсации на ГПП.

Для понимания физической сущности компенсации реактивной мощности косинусных конденсаторов в учебной лаборатории ЭПП кафедры «Электроснабжение» со студентами проводится вышеназванная лабораторная работа на универсальных лабораторных стендах. В связи с реконструкцией универсальных лабораторных стендов, требуется реконструкция также данной лабораторной работы. Она заключается в основном в подборе конденсаторов малой ёмкости на напряжение 400 В для составления трёхфазных КБ, позволяющие ступенчато изменить ёмкость, а соответственно выдачи реактивной мощности до полной компенсации и перекомпенсации реактивной мощности потребляемой асинхронным электродвигателем мощностью 0,5 кВт с коэффициентом мощности 0,7, а также произвести демонтаж, монтаж и наладка работы. Подбор конденсаторов малой ёмкости, а соответственно малой мощности оказывается более трудной задачей при реконструкции лабораторной работы.

Исследование компенсации реактивной мощности проводится на напряжениях 380 В и 220 В трёхфазного тока при схеме соединения обмоток асинхронного двигателя в звезду и в треугольнике. При этом на напряжение 380 В используется только схема соединения обмотки двигателя в треугольник, а при напряжении 220 В, как по схеме треугольника, так и звезды. Переключение от одной схемы соединения обмотки к другой осуществляется автоматически, при пуске электродвигателя на том или ином напряжении.

Экспериментальные испытания стенда показали, что уменьшение мощности асинхронного двигателя и соответствующее снижение мощности КБ при соответствующем подборе измерительных приборов на результаты опыта не отражаются.

Приводятся векторные диаграммы токов и напряжений при номинальном напряжении на зажимах электродвигателя и БК 380 В и 220 В, трёхфазного тока.

С.Д. Иззатуллоев, студ.;
рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК»

Расчёт электрических нагрузок ступеней схем электроснабжения промышленных предприятий, проводится по методам, основанных на коэффициенты, характеризующие графики электрических нагрузок приёмников и потребителей электрической энергии. Они определяются на технологических установках действующих промышленных предприятий, путём обследования графиков электрических нагрузок отдельных и группы электроприёмников. Учитывая важность умения построения и анализа графиков электрических нагрузок будущими специалистами производства в учебной лаборатории ЭПП кафедры «Электроснабжения» студентами проводится лабораторная работа по графикам электрических нагрузок. Как все лабораторные работы, данная работа также входит в состав универсальных стендов, подлежащих реконструкции. Поэтому она также должна быть реконструирована только по той причине, что в качестве электроприёмника рассматривается асинхронный двигатель, мощность, которой уменьшена от 2 до 0,5 кВт.

При реконструкции потребовалось замены индукционных счётчиков активной и реактивной энергии на современных электронных счётчиков, учитывающих расход электроэнергии электроприёмников очень малой мощности, амперметров и ватт варметров высокого класса точности. Также произведена замена нагрузки генератора. Для приближения графиков электрических нагрузок к реальным графикам технологических механизмов на производстве, изменение нагрузки генератора, а соответственно двигателя производится автоматически шаговым искателем. Таким образом, обеспечивается вероятностный характер электрической нагрузки генератора, независимо от экспериментатора.

Проведены испытания лабораторного стенда по данной работе. На основе испытания построены графики электрических нагрузок при различных соотношениях времени работы и паузы, а соответственно цикла.

По графикам электрических нагрузок вычислены средняя мощность, коэффициент включения, коэффициент использования, коэффициент максимума, расход электроэнергии и другие параметры стенда.

Испытание лабораторной работы показали, что эффект проведения лабораторной работы не меняется. Результаты эксперимента приведены в виде графиков и таблиц по всем коэффициентам, характеризующие графики электрических нагрузок.

К.А. Аминов, студ.;

рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В»

В установках напряжением до 1000 В основными аппаратами защиты являются расцепители автоматических выключателей и плавкие вставки предохранителей. Они должны обеспечивать своим быстродействием динамическую и термическую стойкость всего электрооборудования напряжением до 1000 В и при этом одновременно обеспечивать селективность защиты по ступеням схемы электропитания. Обеспечить такие противоречивые требования являются достаточно сложными в производственных условиях, и требует достаточные теоретические знания и практические навыки работы. Эти практические навыки отрабатываются на лабораторных занятиях. С этой целью в лаборатории ЭПП кафедры Электропитания проводятся лабораторные занятия по указанной лабораторной работе.

Для оценки совместимости предохранителей в лабораторных условиях используются предохранители различных типов с инерционными и безынерционными плавкими вставками. Совместимость между собой автоматических выключателей, а также совместимость их с плавкими предохранителями, то она зависит от типа расцепителей автоматов. Как правило, в реально действующих установках промышленных предприятий совместимость их обеспечивается применением на 2-й и 3-й ступенях защиты, автоматических выключателей, имеющих расцепители с независимой выдержкой времени. Такие расцепители имеют только автоматические выключатели на большие значения номинальных токов, использование которых в лабораторных условиях затруднительно и нецелесообразно. Поэтому на учебном лабораторном стенде старые автоматические выключатели типа АП — 50 с регулируемой обратно зависимой характеристикой заменены автоматическими выключателями серии ВА. Они имеют расцепители максимального тока и регулируемые расцепители с обратно зависимыми характеристиками.

Апробация лабораторной работы показала, что при правильном расчёте токов КЗ по ступеням схемы и правильном выборе плавкой вставки предохранителей и уставки автоматов при различном сочетании их установки в цепи, возможно обеспечить селективность защиты.

Лабораторный стенд позволяет установки защитных аппаратов в любой последовательности и оценки их совместимости.

Ф.Д. Мамадюсупов, студ.;

рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

ГЛУБОКИЙ ВВОД НАПРЯЖЕНИЕМ 35/0,4 КВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ

Горные регионы характеризуются малой плотностью населения, расположенные, как правило, в узких ущельях значительной длины. Населённые пункты расположены на значительном расстоянии друг от друга, а потребляемая ими мощность незначительная. Система электроснабжения таких регионов требует значительно больше затрат, при прочих равных условиях. Наиболее сложным в этих условиях является выбор напряжения электропередачи. Чаще всего, для электроснабжения таких регионов применены напряжения 35/10/0,4 кВ или непосредственно 10/0,4 кВ. Из-за большой длины линий электропередачи на напряжении до и свыше 1000 В, допустимый уровень напряжения на зажимах электроприёмников не обеспечивается ни при трёхступенчатом напряжении и не при двухступенчатом. Таких примеров в условиях Республики Таджикистан и в особенности «Памирэнерго» достаточно много и имеет больше полувековой истории.

Одним из таких примеров могут служить, сельские электрические сети напряжением 10/0,4 кВ, длиной 43,6 км, предназначенные для электроснабжения верхнего Ванча Ванчского района. Источником электроснабжения является мини ГЭС расположенная в центре района. Потери напряжения в этой сети настолько велики, что трансформаторами потребительских трансформаторных подстанций (ПТП), невозможно добиться нормальный уровень напряжения на вторичной стороне трансформатора. С учётом больших потерь напряжения в низковольтной сети из-за значительного расстояния между жилыми домами (1,5–2 км) напряжения на вводе в жилые дома находится на уровне 150–170 В. Электроэнергию практически использовать невозможно. Кто и как произвёл расчёт таких систем электроснабжения и для чего, известно. На наш взгляд для повышения «уровня электрификации в Республике», то есть, для отчёта.

В нынешних условиях, когда на напряжениях 35/0,4 кВ производятся трансформаторы малой мощности для ПТП (до 40 кВ.А), появилась возможность применения схем глубокого ввода напряжением 35/0,4 кВ. По такому принципу произведена реконструкция участок сети от вновь построенной ГЭС «Техарв» до конечного населённого пункта верхнего Ванча, расстоянием 23,6 км. При этом за счёт разукрупнение ПТП и увеличение их количества, сокращены радиусы их действия. Потери напряжения в сети как 35 кВ, так и 0,4 кВ значительно уменьшились. Напряжения на вводе в дома доведено до нормированного значения.

Такой положительный опыт целесообразно внедрять в практику реконструкции электрических сетей населённых пунктов горных регионов.

Ф.Д. Мамадюсупов, студ.;

рук. М.Д. Додхудоев, к.т.н., доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Практика эксплуатации электрических сетей горных регионов Республики Таджикистан показывает, что в большинстве случаев на отдалённых участках электрических сетей напряжения у потребителей настолько снижается, что приёмники электрической энергии нормально функционировать не могут. Такое обстоятельство обусловлено тем, что напряжения 35/10/0,4 кВ, используемых для электроснабжения населённых пунктов в горных регионах имеют чрезмерно большую длину линий электропередачи. Часто длина линий электропередачи напряжением 35 кВ чуть ли не доходит до 100 км. Линия электропередачи не имеет ответвление и проложена в дол ущелья. Нагрузка на линии распределённая, но неравномерно распределённая, поскольку расстояние между населёнными пунктами различна, различна также их нагрузка. Сечение по всей длине линий электропередачи принято одинаково не по электрической нагрузке, а по механической прочности. Небольшая нагрузка населённых пунктов не позволяет установки в каждом из них трансформаторную подстанцию напряжением 35/10 кВ. Поэтому для нескольких населённых пунктов расположенных на большие расстояния друг от друга устанавливается одна понижающая подстанция. При этом увеличивается также длина линий электропередачи напряжением 10 кВ.

Расстояние значительно, не только между населёнными пунктами, но также между жилыми домами в пределах одного населённого пункта. Поэтому ни чем не лучше положение с распределительной сетью напряжением 0,4 кВ. Длина линий электропередачи на этом напряжении в отдельных случаях превышает 2 км. Поскольку напряжения 35 кВ к концу линии снижается настолько, что трансформаторами невозможно повысить его значения до номинального на вторичной стороне трансформатора, напряжение сети 10 кВ изначально меньше допустимого, что дальше переходит на напряжение 0,4 кВ. Поэтому до потребителя подаётся такое напряжение, что использовать его невозможно.

Возможны два варианта повышения напряжения на зажимах электроприёмников потребителей. Первый и наилучший вариант это переход на глубокий ввод напряжением 35/0,4 кВ с разукрупнением потребительских трансформаторных подстанций, с установкой их ближе к потребителям. Этот вариант требует больше затрат на реконструкцию. Второй вариант требует меньше затрат, и заключается в установке вольтодобавочного трансформатора, на том участке линии, где напряжения 35 кВ снижается до уровня, когда вольтодобавочным трансформатором возможно его увеличение до среднего значения.

*Х.К. Мамадшоев, студ.;
рук. Ф.О. Исмоилов, к.т.н., и.о. доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)*

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНЫХ ДОМОВ НА БАЗЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Население Республики Таджикистан в основном проживает в частных домах городского и сельского типов. Исключение составляют лишь многоэтажные многоквартирные дома городов. В условиях нашей страны частные дома, расположенные на городских территориях и сельской местности имеют определенные барьеры при энергоснабжении. В городских частных домах проблема заключается в том, что они не подключены к системы централизованного отопления, а в сельских домах почти всегда существует нехватка электрической и тепловой энергии. Таким образом, можно считать, что частные дома в условиях Таджикистана почти всегда испытывают нехватку энергии. Поиск пути решения данной проблемы безусловно считается актуальной задачей в стране.

Если обратить внимание на мировую практику, то подобные проблемы на сегодняшний день эффективно решаются применением возобновляемых источников энергии. Применение ВИЭ становится еще эффективнее если учитывать постоянного роста цен как на органическое топливо (дрова, уголь, газ) так и на электрическую энергию[1].

Из всех видов существующих источников ВИЭ по мнению авторов наиболее привлекательным считается солнечная энергия, если учитывать огромного потенциала солнечной энергии Республики Таджикистан и большого числа солнечных дней в году[1].

В данной работе исследованы как технические, так и экономические стороны поставленной задачи с учетом существующих и перспективных условий сельской местности и страны в целом.

К самым существенным проблемам энергоснабжения частных домов на базе солнечной энергии при этом были отнесены: отсутствие конструкторских бюро и проектных институтов, занимающихся вопросами проектирования энергоустановок на базе солнечной энергии, производства их базовых элементов и комплекующих таких установок, отсутствие доступных по всем регионам и городам специалистов, занимающихся вопросами установки, монтажа и эксплуатации подобных энергетических установок. Кроме того, не по всем территориальным местностям страны известны подробные данные о солнечной энергии.

В работе сделаны подробные научно-обоснованные исследования, в которых содержатся также конкретные пути решения указанной проблемы с учетом местных особенностей и возможностей.

Литература

1. **Исмоилов Ф.О.** Комплексное использование источников возобновляемой энергии в условиях Таджикистана // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 1. № 1 (37). С. 17–28.

Д.Т. Раджабов, маг.;

рук. Ф.О. Исмоилов, к.т.н., и.о. доц. (ТТУ им. акад. М.С. Осими)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ МЕСТНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Для удовлетворения нужд потребителей электроэнергии в Республике Таджикистан вырабатывается около 18 млрд. кВт/ч в год. При этом в энергетическом секторе все еще имеет место дефицит электроэнергии. Потребление электроэнергии в стране имеет возрастающую динамику. Увеличивающееся потребление электроэнергии прежде всего связано с развитием отдельных отраслей промышленности, сельского хозяйства и увеличением количества и мощности городских потребителей. Необходимо отметить, что более 95% вырабатываемой электроэнергии в республике получают на гидроэлектростанциях. Приблизительно 94% полученной от ГЭС электроэнергии производится на крупных и средних станциях, суммарная мощность которых из года в год растет. Это означает, что проблема дефицита электроэнергии в ближайшем будущем найдет своё решение. Однако, значительное увеличение потребления электроэнергии естественным образом потребует постоянного расширения и обновления питающих и распределительных сетей энергетической системы регионов или страны в целом. Это означает, что низкая пропускная способность ЛЭП, построенные примерно более 50 лет назад, станут весьма актуальной проблемой энергетики Таджикистана, т.е. возникает задача повышения пропускной способности существующих и вновь сооружаемых воздушных линий электропередач.

Пропускная способность линии в основном зависит от материала проводника, конфигурации ЛЭП, протяженности ЛЭП, характера нагрузок и номинального напряжения энергосистемы. Повышение пропускной способности ЛЭП сведено к поочередному применению следующих методов: увеличение класса напряжения ЛЭП путем реконструкции уже существующих ЛЭП и тем самым их перевод на более высокий класс напряжения или проектирование и сооружение новых ЛЭП более высокого класса напряжения, уменьшение суммарного реактивного сопротивления ЛЭП путем применения продольных или поперечных средств компенсации реактивной мощности, применение новых технологий [1].

В данной работе исследованы все традиционные и нетрадиционные способы повышения пропускной способности ЛЭП на предмет применения их в электрических сетях Таджикистана и сделаны конкретные выводы о применимости тех или иных способов повышения пропускной способности ЛЭП с учетом местных возможностей [1][2].

Литература

1. **Тухватуллин М.М.** Повышение пропускной способности линий электропередач за счет применения статического тиристорного компенсатора / М.М. Тухватуллин, В.В. Анохин, Ф.Ф. Урманова, В.Е. Котышев // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. — 2015. — Т. 2, № 4. — С. 77–83.
2. **Кочкин В.И.** Новые технологии повышения пропускной способности ЛЭП / *Общие вопросы электроэнергетики / НРЭ № 8*. 2010 г. С. 5–16.

*Дж.Н. Юнусов, магистр, Д.С. Бердиев, студ.;
рук. С.Р. Ниёзи, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)*

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОАО «ТУРСУНЗАДЕВСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ» Г. ТУРСУНЗАДЕ

Город Турсунзаде — один из городов Таджикистана расположен в западной части страны. С развитием города постоянно увеличивается объем потребляемой энергии. Также при увеличении численности потребителей, также увеличивается уровень потери электроэнергии в электрических сетях.

Известно, что потери электроэнергии на уровне 10% считается максимально допустимыми с точки зрения физической транспортировки [1, 2].

По существу в электрических сетях ОАО «Турсунзадевские электрические сети» г. Турсунзаде уровень технических потери электроэнергии составляет в порядке 13–14%, что существенно превышает даже максимально допустимые значения [3, 4]. В соответствии с этими данными в работе проводился анализ и оценка состояния технических потерь электроэнергии в электрических сетях города Турсунзаде.

Сперва, для проведения анализа и оценки состояния технических потерь электроэнергии была получена информация о состоянии потерь электроэнергии в городских распределительных сетях г. Турсунзаде [3].

Полученная информация дала возможность рассчитать потери электроэнергии в городских электрических сетях г. Турсунзаде. По результатам расчетов было проанализировано состояние технических потерь электроэнергии в данном объекте. После анализа выявлены основные причины высокого уровня технических потерь электроэнергии в распределительных сетях: неоптимальные режимы работы распределительных сетей, отсутствие программ, направленных на снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях города Турсунзаде. Для решения данной проблемы были разработаны мероприятия по снижению технических потерь электроэнергии в городских электрических сетях г. Турсунзаде.

Литература

1. **Бохмат И.С, Воротницкий В.Э., Татаринов Е.П.** Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. — Электрические станции, 1998, № 9.
2. **Шведов Г.В., Сипачева О.В., Савченко О.В.** Потери электроэнергии при её транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение / Под ред. Ю.С. Железко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 424 с.
3. **Чоршанбиев С.Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.

*S.R. Niyozhi, Candidate of Technical Sciences., Ass.,
M.M. Vohidov, Candidate of Technical Sciences, Associate
(TTU named after ak. M.S. Osimi)*

MODELING OF HIGH-VOLTAGE URBAN ELECTRIC NETWORKS IN DUSHANBE FOR CALCULATION OF ELECTRICITY LOSS

In connection with the intensive development of the country, population growth and the construction of large enterprises are currently observed. Population growth has a corresponding effect on electricity consumption. In addition, in recent years, there has been a sharp increase in electricity consumption in the household sector due to a sharp reduction in the supply of natural gas to the country. With the growth of electricity consumption, the question of increasing electricity losses arises. Since the city of Dushanbe is the capital of the Republic of Tajikistan, the city is also the main consumer of electricity in the country. In this regard, this paper considers the modeling of high-voltage urban electrical networks in the city of Du-Shanbe for calculating the loss of electricity.

For modeling, information was obtained about high-voltage power lines in the city of Dushanbe [1]. The composition of the urban electric networks of Dushanbe includes 4 regional electric networks. As of 2020, there are 34 substations — 110/35/10/6 kV on the balance sheet of the city electrical networks of Dushanbe.

The RAP-OS-st program was used as a tool for modeling the urban electrical network of 35–110 kV. The RAP-OS-st program is designed to calculate steady-state modes, power and energy losses in electrical networks with a voltage of 35 kV and above.

After analyzing the volume of available initial data on node loads — only the maximum loads based on the results of winter control measurements for 2020 — it was assumed that the power losses in the model will be calculated by one of the most inaccurate methods — the method of maximum losses. After modeling and calculation, the structure of electricity losses at a voltage of 35–110 kV (the ratio of load and conditionally constant — 80%: 20%) is practically comparable to the Russian one (72%: 18%). Thus, as a result of the study, it was found that the reasons for the high level of load losses in high-voltage urban electrical networks in Dushanbe are the long length of some power transmission lines and the presence of power transit through the high-voltage urban networks of Dushanbe from the main energy sources of the energy system of the Republic of Tajikistan located in the southern part of the republic into the central and northern regions.

Literature

1. Technical annual report for 2020 of Dushanbe City Electric Networks OJSC.

*S.R. Niyozhi. Candidate of Technical Sciences., Ass.
(TTU named after ak. M.S. Osimi)*

RESEARCH STATE OF ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRIC NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 0.4–500 kV, SOGDIA REGION, REPUBLIC OF TAJIKISTAN

The electric networks of the Sughd region are the most important infrastructural part of the electric power system of the Republic of Tajikistan. In the electric grids of the Sughd region, work is being carried out on a wide front on the reconstruction, modernization and innovative development of the main power grid equipment and control systems.

Energy surveys of the subjects of the electric power industry of the Republic of Tajikistan and, in particular, the Sughd region show that the work on energy saving and energy efficiency increase at power plants and in power grids is often formal in nature and, with rare exceptions, does not give the desired results. tov [1]. Based on this, in this work, the state of electricity losses in electrical networks with a voltage of 0.4–500 kV of the Sughd region of the Republic of Tajikistan was analyzed.

During the analysis of electricity losses in electrical networks with a voltage of 0.4–500 kV of the Sughd region of the Republic of Tajikistan, the following was determined:

- 1) The level of relative actual losses of electricity (as of 2016 — 16.5%) significantly exceeds the threshold of 10%, which is considered the maximum permissible from the point of view of the physics of electricity transmission through electrical networks.
- 2) One of the main reasons for the high level of electricity losses in distribution networks of 6.10, 0.4 kV is the direct connection of solar generation to the distribution network of 6.10, 0.4 kV, leading to a significant unloading of electrical networks and, as a result — the effect of a significant increase in the relative conditionally constant losses in distribution networks of 10 kV (first of all, no-load losses of transformers);
- 3) An enterprise was identified in which the ratio of load and conditionally constant losses at a voltage of 35–500 kV, on average, is 75%: 25%, practically comparable with the average static values of the Russian one (70%: 30%).

Literature

1. **Chorshanbiev S.R.** Analysis of the generation, transmission and consumption of electrical energy in the national energy company OJSC “Barki Tojik” of the Republic of Tajikistan / S.R. Chorshanbiev, G.V. Shvedov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. — 2018. No. 4 (44). S. 27–35.

*А.А. Пулатова, магистр;
рук. С.Р. Ниёзи, к.т.н., асс. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)*

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ГОРОДА БОХТАР ХАТЛОНСКОЙ ОБЛАСТИ

Энергоэффективность, энергосбережение, обеспечение надёжного и качественного электроснабжения и снижение уровня потерь электроэнергии — являются ключевыми задачами для любой электросетевой компании.

Несмотря на столько многочисленные проведенные научно исследовательские работ [1–2] до сих пор уровень потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям Республики Таджикистан, и в частности, города Бохтара Хатлонской области не соответствует оптимальным значениям и превышает показатели технически развитых стран, которые составляют не более 4–10% от отпуска в сеть [3]. Учитывая этого, в работе описываются результаты структурного анализа и оценка потери электроэнергии в электрических сетях города Бохтара. Представлена структура технических потерь электроэнергии по классам напряжений и видам потерь электроэнергии. Также в ходе анализа определено, что уровень относительных фактических потерь электроэнергии в электрических сетях города Бохтара Хатлонской области существенно превышает порог в 4–10%, который считается максимально допустимым с точки зрения физики передачи электроэнергии по электрическим сетям, и в целом составляет 13,1% [2].

Сделан вывод, что высокий уровень потерь электроэнергии в электрических сетях города Бохтара вызван: изношенностью электрических сетей; высокой неравномерностью графиков электрических нагрузок; отсутствием нормативно-правовых актов, программ направленных на снижение потерь электроэнергии; потери электроэнергии не рассчитываются на основе показаний системы учёта, собираются только значения фактических (отчетных) потерь электроэнергии; очаги потерь не выявляются.

Литература

1. **Чоршанбиев С.Р.** Повышение эффективности функционирования электрических сетей с распределенной солнечной генерацией за счет снижения технических потерь электроэнергии (на примере Республики Таджикистан): дис. ... канд. техн. наук. Москва: Из-во МЭИ, 2019.
2. **Шведов Г.В.** Структурный анализ потерь электроэнергии в электрических сетях 35–500 кВ Республики Таджикистан / Г.В. Шведов, С.Р. Чоршанбиев, Х.Б. Назиров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. — 2018. №1(41). С. 74–86.
3. **Bokhmat I.S, Vorotnitsky V.E., Tatarinov E.P.** Reduction of commercial losses in electric power systems. *Elektricheskie stantsii [Electric stations]*, 1998, no. 9, pp. 45–49.

А.М. Расулов, соиск.;

рук. Б.М. Гиёев, к.т.н. (ТТУ имени акад. М.С. Осими)

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В РАЙОНЕ НУРЕКСКОЙ ГЭС ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА

В данной работе проведен анализ динамической устойчивости в районе Нурекской ГЭС (ГЭС-7) энергосистемы Таджикистана (ЭТ) при изолированной работе энергосистемы, соответствующей реальным условиям работы энергосистемы, и параллельной работе с энергосистемой Республики Узбекистан. В качестве рассматриваемых выбраны режимы зимнего максимума и летнего минимума — наиболее тяжелые с точки зрения переходных режимов.

Моделирование динамической устойчивости в районе Нурекской ГЭС ЭТ проводилось с помощью программного комплекса «PSCAD». Для исследования синхронной динамической устойчивости была создана расчетная модель с подробным представлением ЭТ, включающая электрические станции и электрическую сеть 220–500 кВ [1]. В ходе исследования динамической устойчивости были реализованы типовые аварийные возмущения. Для наглядности моделирования ниже представлена одна из временных диаграмм процесса ликвидации КЗ для ряда нормативных расчетных возмущений.

Таблица 1.

| Время начала возмущения (с) | Событие при моделировании процесса |
|------------------------------------|---|
| 0 | Возникновение однофазного КЗ. |
| 0,04 | Срабатывание основной защиты линии со стороны Нурекской ГЭС-7. |
| 0,083 | Отключение выключателей 500 кВ ЭГВ-500 на ПС 500 кВ Perap. |
| 0,12 | Отключение выключателей 500 кВ В-505 и ВП-2. |
| 1,02 | Включение выключателей 500 кВ ЭГВ-500 на ПС 500 кВ Perap, В-505 и ВП-2 действием АПВ. |
| 1,02 | Ликвидация короткого замыкания. |

Литература

- Расулов, А.М.** Разработка эквивалентной модели энергосистемы Таджикистана с учетом реализации проекта CASA-1000 / А.М. Расулов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов двадцать седьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 11–12 марта 2021 года. — МОСКВА: «Центр полиграфических услуг» РАДУГА», 2021. — С. 1123.

*С.Дж Саидов, магистр;
рук. М.М. Вохидов, к.т.н., доц. (ТТУ имени ак. М.С. Осими)*

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛИНИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ДРОБИЛЬНОГО ЦЕХА

Как известно, все предприятие по обогащению руд цветных металлов (в том числе золота) расположено на отдельной промышленной площадке. Согласно ПУЭ месторасположение завода относится к III зоне по скоростному напору ветра и по толщине стенки гололеда, к району с умеренной пляской проводов. Основное назначение дробильного цеха заключается в первичном измельчении медесодержащих и никельсодержащих руд.

Процесс переработки руды в дробильном цехе осуществляется непрерывно, и образует последовательную технологическую цепь, состоящую из следующих участков, в том числе склад сырья с системой транспорта, участок крупного дробления (УКД), участок среднего дробления (УСД), участок мелкого дробления (УМД), участок обогащения центробежно-гравитационным методом и участок по ремонту основного технологического оборудования (УРОО).

Основными потребителями дробильного цеха являются электроприводы дробилок, вентиляторов 10 кВ, а также электроприводы 0,4 кВ системы транспорта, насосов, кранов, станков. Так как перерыв электроснабжения приводит к массовому недоотпуску продукции, простою оборудования, то по [1] в отношении обеспечения надёжности электроснабжения дробильный цех относится ко 2-й категории надёжности электроснабжения.

Есть потребители электроэнергии первой категории, к которым относят систему противоаварийной автоматики, аварийного останова основного технологического оборудования. Исходя из того, что дробильный цех имеет в основном потребители второй категории надёжности электроснабжения, а также имеются потребители первой категории надёжности электроснабжения, то он должен получать электроэнергию от двух независимых взаимно резервирующих источников.

Учитывая растущий спрос на щебень определенных размеров и повышение требований к качеству материала, наиболее эффективным оказывается оборудование, обеспечивающее на выходе максимально правильную форму зерен и точный размер фракции. Дробильная установка является лишь одним из компонентов большого и сложного комплекса. Поэтому ее работа зависит от правильного выбора, установки, настройки и взаимодействия питателей, конвейеров, грохотов, приводных компонентов и промежуточных бункеров который рассматривается в данной работе.

Литература

1. **Правила** устройства электроустановок ПУЭ (7 издание).

*Э.М. Абдыкеримов, Кадырбек уулу Э., студ;
рук. Н.Д. Таабалдиева, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMPOWERSYSTEMS

В данном докладе представлена модель и имитация схемы дифференциальной защиты трехфазного двухобмоточного трансформатора с использованием программного обеспечения MATLAB / SimPowerSystems. Он разработан для предотвращения ложных срабатываний при пусковом токе намагничивания. Он также представляет собой быстрый отклик и время устранения неисправности схемы защиты с использованием рабочего инструмента SimPowerSystems.

Трансформатор мощностью 150 МВА был использован в качестве примера. Схема цифровой дифференциальной защиты была включена с использованием связанных компонентов блока Simulink. Из результатов моделирования было замечено, что схема дифференциальной защиты дает хороший отклик, различая сквозные повреждения и пусковой ток намагничивания. Во время броска тока намагничивания реле не срабатывало. При возникновении неисправности в трансформаторе реле давало быструю реакцию переключения за 0,52 мс после возникновения неисправности.

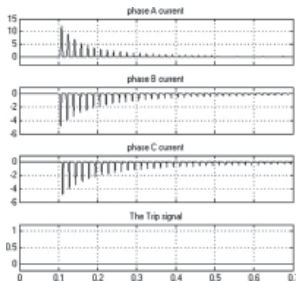


Рис. 1. Осциллограммы пусковых токов трех фаз на первичной стороне силового трансформатора

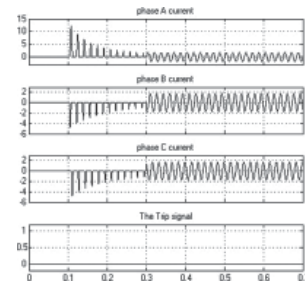


Рис. 2. Нормальный ток нагрузки начинает течь через 0,3 секунды

Как показано на рис. 1, когда первичная сторона замкнута с выключателем В1 на 0,1 с, только пусковой ток течет в первичной цепи силового трансформатора, и никакой ток не проходит через силовой трансформатор на вторичную сторону.

На рис. 2 приводится результат тестирования, с добавлением резистивной нагрузки 500 Вт к системе через 0,3 секунды. Следовательно, пусковой ток исчез, и ток нагрузки начал течь в первичной и вторичной цепях трансформатора в соответствии с коэффициентом трансформации силового трансформатора.

Литература

1. **Багинский, Л.В.** Основные особенности продольных дифференциальных защит электрооборудования электростанций и подстанций: учеб. пособие / Л.В. Багинский. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. — 66 с.
2. **Циглер, Г.** Цифровые устройства дифференциальной защиты. Принципы и область применения / Г. Циглер; под ред. Ф. Дьякова. — Нюрнберг, 2005. — 273 с.: ил.

Т.Ж. Эсенгулов, студ., Г.М. Султаналиева, асп.,
рук. Т.Т. Джунуев, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек)

РЕЗИСТИВНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

В случае сложной многомашинной электроэнергетической системе (ЭЭС), описывающая её система уравнений имеет большой порядок. Если учесть систему автоматического регулирования возбуждения генераторов, то увеличивается порядок этой же системы уравнений. Поэтому при решении такой системы уравнений возникали определённые трудности. Но возросшие возможности современных вычислительных машин и программных обеспечений, а также представление дифференциальных уравнений в разностной форме, которые позволяют заменить общепринятые схемы замещения синхронной машины (СМ) резистивными (дискретными) моделями, легко устраняют проблемы, связывающие с порядком алгебраических и даже дифференциальных уравнений.

В статье рассматривается применение резистивной модели синхронной машины для дальнейшего использования в исследовании переходных процессов. Преимущество разработанной резистивной модели синхронной машины в том, что она позволяет выполнить схемное эквивалентирование группы из k машин, освобождающих от аналитических операций с системами уравнений.

На базе уравнений Горева-Парка разработана математическая модель синхронной машины в разностной форме, которая позволила получить резистивную (дискретную) схему замещения машины.

Приведенным уравнениям переходных процессов в обмотках статора и ротора, а также уравнениям потокоцеплений можно поставить в соответствие следующие схемы замещения в виде электрических цепей (рис. 1).

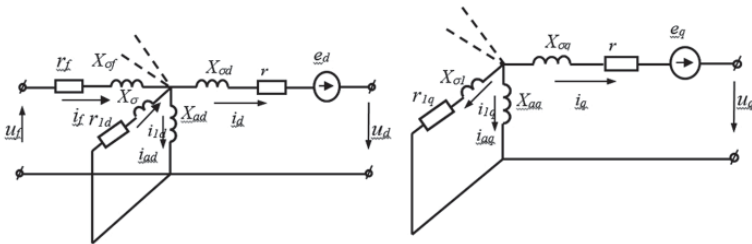


Рис. 1. Схемы замещения машины по осям d и q

На основе полученной резистивной модели одиночной синхронной машины и матрицы преобразования координат получена система дискретных алгебраических уравнений, описывающих переходный процесс в группе из k машин, работающих параллельно на общие шины.

Литература

1. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. — М., ГЭИ, 1950.
2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических и энергетических вузов и факультетов. — М.: Энергия, 1970.

Асгат Асан уулу, асп.;

рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф. (КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек)

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗАДАЧАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Рассматриваются проблемы электромагнитных помех между высоковольтными линиями электропередач и подземными металлическими трубопроводами. Для оценки потенциала вектора магнитного поля для различных конструктивных геометрий конкретной конфигурации задачи применен метод искусственного интеллекта на основе нейронных сетей. С целью нахождения оптимальных решений, протестированы разные архитектуры нейронных сетей. Результаты, полученные с помощью нейронных сетей, сравнены с стандартными решениями таких задач методом конечных элементов.

Оценка вектора магнитного потенциала (ВМП), наведенный на металлическую трубу, для задачи электромагнитных помех. Проблема, представленная на рис. 1, относится к подземному металлическому газопроводу, который разделяет на 25 км тот же распределительный коридор с ЛЭП 110 кВ на частоте 50 Гц

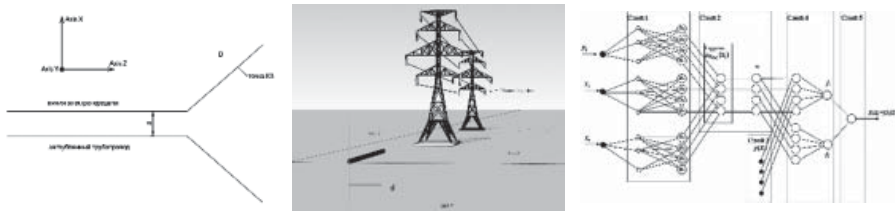


Рис. 1. Вид сверху, поперечный разрез исследуемой конфигурации и примененная нейронная сеть с прямой связью

Для определения оптимального решения нейронной сети были реализованы и протестированы различные архитектуры. Полученные результаты сравнены с методами МКЭ, считающимися стандартными.

Предложено использовать технику искусственного интеллекта для масштабирования значений ВМП для любой геометрической конфигурации для конкретной проблемы электромагнитных помех из набора известных геометрий задачи, чтобы сократить время вычислений для новых конфигураций задач. Метод с использованием нейронных сетей, реализованный для оценки ВМП для различных геометрических конфигураций, является эффективным, особенностью которой является то, что решения, предоставляемые нейронными сетями, получаются мгновенными по сравнению с МКЭ.

Литература

1. S. Al-Badi, K. Ellithy, S. Al-Alawi, Prediction of Voltages on Mitigated Pipelines Paralleling Electric Transmission Lines Using an Artificial Neural Network, The Journal of Corrosion Science and Engineering, 10 (2007).

*Г.Ж. Алыбаева, асп., Н.Т. Ниязов, к.т.н., доц.,
рук. А.Б. Бакасова, д.т.н. (КГТУ им. И. Раззакова в г. Бишкек)*

САМООРГАНИЗУЮЩЕЕСЯ НЕЛИНЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО ОГРАНИЧЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ТОКОВ

Возрастающие аварийные токи в электроэнергетических системах (ЭЭС) и сверхтоки на межсистемных связях могут привести к критическим изменениям передаваемой мощности, резким сбросам мощности и выпадению генераторов из синхронизма, или полностью прервать передачу мощности в ЭЭС и нарушается статическая и динамическая устойчивость. В данной работе предложено одно из решений этой проблемы — применение в качестве управляемых межсистемных связей — самоорганизующееся, нелинейное РТУ — резонансно-токоограничивающее устройство [1].

На рис. 1 X_L — линейный реактор, по сопротивлению равной сопротивлению X_C ; $X_{Н.Р.}$ — нелинейный реактор; R_d — значительное активное сопротивление. В нормальных режимах напряжение на емкости U_C недостаточно для насыщения реактора $X_{Н.Р.}$. При КЗ сильно растут значения U_C и это приводит к повышению $I_{Н.Р.}$ в параллельной цепи, реактор $X_{Н.Р.}$ насыщается, его сопротивление $X_{Н.Р.}$ уменьшается, резонанс нарушается и общее сопротивление Z схемы РТУ сильно возрастает, таким образом, ограничивается ток КЗ [2].

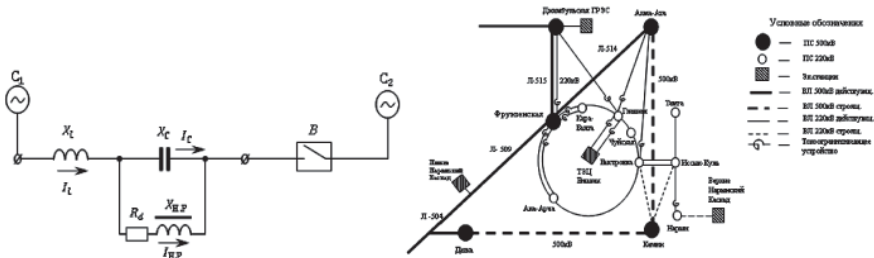


Рис. 1. РТУ и возможная схема включения ее в ЭЭС 220 кВ севера КР

Применение в сетях ВН, СН, НН нелинейных РТУ позволяет предотвратить аварийные режимы, а также исключить неустойчивость межсистемных связей, но ее использование в реальных сетях сдерживается нерешенностью задач минимизации массы и габаритов нелинейного реактора и упрощения его схемы [2]. РТУ можно отнести к новому поколению самоорганизующихся регуляторов — нелинейным наблюдателям состояния.

Литература

1. Апышев Д.А. Метод приспособивания для расчета переходных процессов в безинерционном токоограничивающем устройстве с одним нелинейным элементом. М.: Труды МЭИ. вып. 304. 1976. — 131–133 с.
2. Апышев Д.А., Бакасова А.Б. Нелинейности в электроэнергетике. Бишкек: ИЦ «Техник». 2003. — 170 с.

*Д.А. Алмазбеков, У.К. Кондубаев, студ., А.К. Мамакеева, преп.;
рук. Н.Д. Таабалдиева, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова)*

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Исследование переходных процессов при различных видах короткого замыкания представляет собой сложную задачу. При переходных процессах в системе могут возникать опасные перенапряжения, в несколько раз превышающие те уровни, на которые рассчитана изоляция сети и средства ее защиты.

Повышение эффективности проектирования и эксплуатации сложных электроэнергетических систем (ЭЭС) связано с необходимостью постоянного развития и совершенствования методов расчета и анализа установившихся и переходных режимов. Успешное решение этих задач существенно зависит от эффективности математических моделей исследования различных режимов ЭЭС и универсальности алгоритма расчета. Поэтому в данной статье приведены математическая модель и алгоритм расчета для исследования переходных процессов при различных видах короткого замыкания.

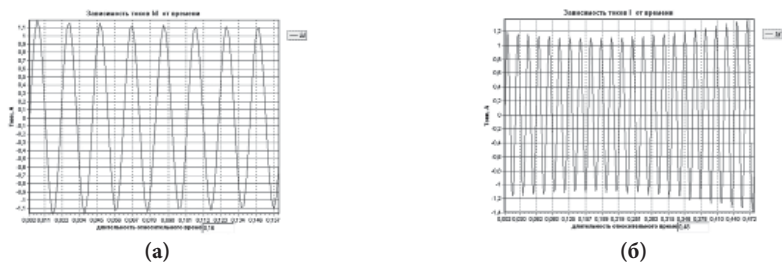


Рис. 1.

Из осциллограмм видно, что, когда отсутствует регулирование возбуждением, наблюдается спад тока к.з. (рис. 1, а). При действии АРВ, которая вступает в действие через 0,2 с. (рис.1, б) происходит увеличение тока к.з. с увеличением тока возбуждения.

Из приведенных осциллограмм видно, что разработанный алгоритм и программа расчета к.з. функционирует достоверно, отражая физические процессы, соответствующие теоретические положения, изложенным в [1–3].

Литература

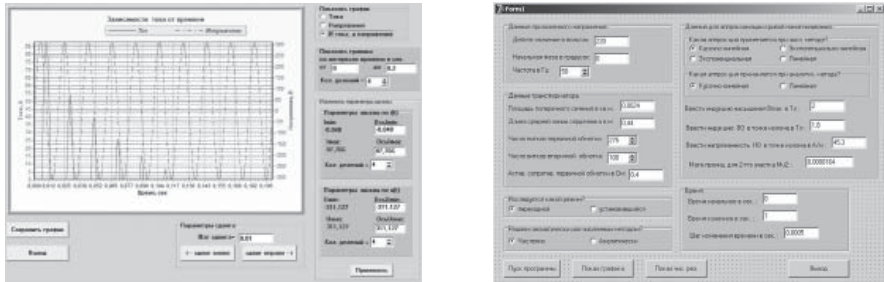
1. **Джунуев Т.Т.** Анализ аварийных режимов работы энергосистемы в условиях отсутствия аварийного резерва. Сборник трудов восьмой международной научно-технической конференции. Издательство: (Благовещенск), 2015.
2. **Горев, А.А.** Переходные процессы синхронной машины / А.А. Горев; Отв. ред. М.Л. Левинштейн, Л.А. Суханов. — 2-е изд., доп. — Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1985. — 502 с.
3. **Веников В.А., Скрипник В.Ф., Цовьянов А.Н.** Применение цифровых вычислительных машин для исследования переходных процессов в электрических системах // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт-1963. — № 4.

Ж.Т. Самидинов, А.С. Абдыгапарова, студ., Д.Т. Конушбаева, рук. Н.Д. Таабалдиева, к.т.н., доц. (КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

Анализ переходных процессов в трансформаторе позволяет принимать обоснованные решения при разработке его конструкции и формировании требований к условиям эксплуатации трансформатора и средствам его защиты. В данной статье приведены методы для исследования переходных процессов при включении ненагруженного трансформатора в сеть. Для исследования использованы методы основанные на аппроксимации зависимости $V=f(H)$ кусочно-линейной функцией и экспоненциальной функцией.

Нами разработана программа для моделирования, которая решает дифференциальное уравнение, используя, по желанию пользователя, тот или иной способ аппроксимации. Т.е. используя, либо аналитические, либо численные методы.



На рисунке приведены результаты моделирования для однофазного трансформатора с параметрами $U_{НОМ} = 220$ В; $U_2 = 42$ В; $I_{1НОМ} = 2,8$ А; $I_{2НОМ} = 14$ А; $I_{ХХ} = 0,28$ А; $S_{НОМ} = 616$ ВА; число витков первичной обмотки $W = 275$; площадь керна $S = 0,0024$ м², омическое сопротивление обмотки $R = 0,4$ Ом. Взяв длину средней магнитной линии $l = 0,44$ м и из кривая намагничивания, определили параметры $H_0 = 45,3$ А/м и $B_0 = 1,8$ Тл.

Литература

1. **Котенов С., Евсеев А.** Переходные процессы при включении трансформатора в сеть с синусоидальным напряжением. Силовая электроника. — 2005. — No 4. — С. 34–37.
2. **Рогинская Л.Э., Сысоева М.В., Муразымов А.Ю.** Расчет переходного процесса при включении силовых трансформаторов. Материалы второй российской молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи» Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа.

Асгат Асан уулу, асп.;

рук. А.Б. Бакасова, д.т.н., проф. (КГТУ им. И. Раззакова г. Бишкек)

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ТОКИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

В статье рассмотрен метод управления трехфазным и однофазным матричным преобразователем с шестью ключами, позволяющий формировать выходное напряжение прямоугольной формы частотой 50 Гц.

Предложено схемное решение и способ управления матричным преобразователем с пятью ключами, что позволяет при генерации выходного напряжения, синхронизированного с сетью, получить коэффициент мощности источника питания (ИП), близкий к единице.

Цель исследования направлена в основном на снижение стоимости таких ИП, заключающуюся в разработке эффективного источника питания для аппарата контактной сварки (АКС), обеспечивающего высокое качество процесса сварки и электромагнитную совместимость с электросетью.

Применение матричного преобразователя (МП) с пятью переключателями позволяет сохранить все свойства и преимущества классических МП с шестью переключателями, исключая возможность изменения выходной частоты, но с учетом подавляющего большинства сварочных ИП, рассчитанных на работу с трансформатором промышленной частоты. В результате математического моделирования в пакете MatLab были получены диаграммы входных токов, выходного напряжения и тока МП с пятью ключами.

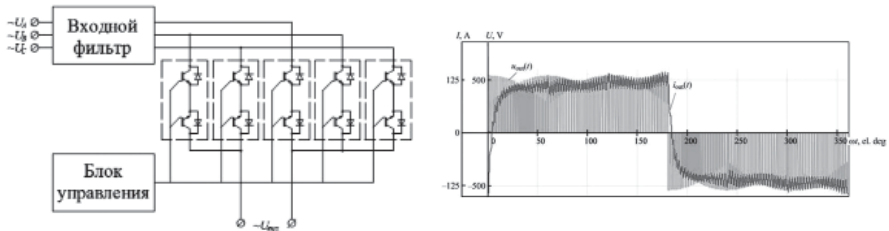


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема матричного преобразователя с пятью переключателями и диаграммы выходных напряжений и тока

По результатам моделирования применение описанных преобразователей и способы их управления позволило добиться высокого качества процесса контактной сварки, обеспечив тем самым высокий коэффициент мощности ИП и его электромагнитную совместимость с питающей электросетью.

Литература

1. Saleem, J. (2012) Power electronics for resistance spot welding equipment. Mid Sweden University Licentiate Thesis. Sundsvall.

Секция 63
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

**Special issues of electric power industry
in Eastern Europe**

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»*

С.В. Ковальская, асп.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН ПО ДАННЫМ ОПЫТОВ МАЛОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Национальный стандарт Российской Федерации (РФ) ГОСТ 10169-77 и международный стандарт МЭК IEC 60034-4-1:2008 [1], регламентируют экспериментальное определение электромагнитных параметров (ЭМП) синхронных машин (СМ) по обем осям симметрии ротора из опытов отключения от сети машины, вращающейся с малым скольжением.

При этом не определен допустимый диапазон скольжений, а контроль углового положения ротора предполагается осуществлять приблизительно по экстремальным значениям тока в обмотке статора или напряжения, индуцированного на разомкнутой обмотке возбуждения (ОВ).

В настоящей работе этот метод уточняется в направлении обоснования максимально допустимого значения скольжения и условий проведения опытов отключения СМ от источника пониженного напряжения.

Анализ, выполненный на основе экспериментальных частотных характеристик (ЧХ) ряда промышленных турбогенераторов (ТГ) позволил установить допустимые значения скольжений, при которых угловые положения ротора при наступлении экстремальных значений токов статора отличаются на заданную величину от положений, соответствующих протеканию в обмотке статора продольного или поперечного токов. Установлено, что при угле в 20° скольжение при короткозамкнутой ОВ должно находиться в пределах $0,002-0,01\%$.

Очевидно, что даже при указанной значительной неточности в угловом положении ротора поддержание такого скольжения невозможно.

Поэтому опыт отключения машины, вращающейся с малым скольжением, можно рекомендовать для определения ЭМП только по поперечной и продольной осям при разомкнутой ОВ. Скольжение ротора поддерживается при этом в пределах, регламентируемых стандартами, т.е. 1% . Контроль углового положения ротора следует осуществлять по индуцированному на ОВ напряжению.

ЭМП по продольной оси при замкнутой ОВ следует определять при отключении синхронно вращающейся в сети машины.

Литература

1. **ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012** Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин: дата введ. 2012-23-11. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 54 с.

В.М. Петрийчук, студ.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОМЕНТ ТУРБИНЫ

В настоящее время в электроэнергетических системах (ЭЭС) для предотвращения нарушения динамической устойчивости широко используется противоаварийная автоматика (ПА) [1] балансирующего действия путем изменения момента турбины. При этом в избыточных узлах ЭЭС осуществляется импульсная разгрузка (ИРТ), которая может сочетаться с ограничением мощности (ОМТ).

Поведение ЭЭС при воздействии на момент турбины зависит от условий работы ЭЭС, вида возмущающего воздействия, импульсной характеристики, параметров сети и др. Поэтому, для оценки эффективности применения ИРТ в подсистеме АПНУ необходим в каждом конкретном случае количественный анализ электромеханических переходных процессов.

В настоящей работе разработано программное обеспечение (ПО) среде прикладного пакета MathCAD для анализа переходных процессов и формулирования требований к формированию управляющих воздействий для осуществления ИРТ и ОМТ, направленных на обеспечение сохранения 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 ввода ИРТ; параметры импульсов; величина ограничения мощности турбины.

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 ИРТ и ОМТ генераторов тепловых электростанций.

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.

Д.В. Тихонов, студ.;
рук. А.М. Ларин, к.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АПВ С САМОСИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИНХРОНИЗМА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Для восстановления параллельной работы электрической системы после ее разделения на отдельные несинхронно работающие части применяются различные методы автоматического повторного включения [1]: точная синхронизация; с улавливанием синхронизма (АПВуС); с самосинхронизацией (АПВС); без контроля синхронизма (НАПВ).

АПВС обладает рядом существенных преимуществ: простота схемы и аппаратуры; надежность работы устройств; быстрота включения генератора в сеть. Кроме того, в отличие от НАПВ не требуется предварительная оценка допустимости повторного включения, что расширяет возможности применения АПВС в электроэнергетических системах.

Однако, после включения должно быть обеспечено восстановление синхронной работы частей системы.

Достоверная оценка возможности осуществления ресинхронизации после АПВС может быть произведена на основе решения дифференциальных уравнений Парка-Горева для модели синхронного генератора, основанной на многоконтурных схемах замещения, отражающих его динамические свойства.

Процесс восстановления синхронного режима зависит от многих факторов: схемы соединений и исходного режима системы; величины передаваемой мощности до АПВ; значений угла и скольжения в момент включения; состояния обмотки возбуждения генератора (короткозамкнута или замкнута на сопротивление самосинхронизации); режима возбуждения (момент подачи возбуждения, скорость нарастания и величина установившегося тока возбуждения).

В настоящей работе на основании исследований с использованием специально разработанного программного обеспечения разработаны практические рекомендации по осуществлению АПВС для обеспечения быстрой и надежной ресинхронизации в электрической системе.

Литература

1. Пособие для изучения Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (электрическое оборудование) / под редакцией Ф.Л. Коган. — Москва: ЭНАС, 2017. — 352 с. — ISBN 978-5-4248-0040-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL:<http://www.iprbookshop.ru/76163.html>.

*К.Н. Осыченко, студ.;
рук. Д.В. Полковниченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Физические процессы в цепях переменного тока, связанные с созданием магнитных полей, которые необходимы для преобразования и потребления электроэнергии, требуют передачи реактивной электроэнергии.

На территории ДНР в настоящее время действует Методика [1], которая устанавливает методологию исчисления платы за переток реактивной электроэнергии между электропередающей организацией (ЭО) и ее потребителями.

Эта Методика устанавливает порядок расчета и анализа режимов технологических сетей ЭО и потребителей для определения экономических эквивалентов реактивной мощности (ЭЭРМ), определения потерь реактивной электроэнергии и составления баланса реактивной электроэнергии.

ЭЭРМ исчисляется, согласно метода численного дифференцирования:

$$D_i = \left(\Delta P_S^{(1)} - \Delta P_S^{(2)} \right) / \Delta Q_i = d\Delta P_S / dQ_i,$$

где $\Delta P_S^{(1)}$, $\Delta P_S^{(2)}$

— суммарные потери активной мощности в расчетной схеме для двух сопредельных режимов, с реактивной нагрузкой соответственно Q_i и $Q_i + \Delta Q_i$; $d\Delta P_S / dQ_i$ — частная производная суммарных потерь активной мощности по реактивной мощности i -го узла; ΔQ_i — малый шаг численного дифференцирования.

Основная плата, а, следовательно, и общая плата за потребление и генерацию реактивной электроэнергии, напрямую зависят от ЭЭРМ.

Проведенные в работе исследования показали, что ЭЭРМ: значительно зависит от выбранной схемы и характерного режима работы энергосистемы; для потребителей, подключенных к одному узлу на ГБП, будет одинаковым, даже при различном потреблении РМ; зависит от величины напряжения в узлах энергосистемы, которая определяется режимом работы и управлением им (например, изменением положения РПН трансформатора); тем выше, чем больше расстояние от источника до потребителя (при том же потреблении РМ); зависит от величины перетоков РМ от всех потребителей в схеме до источника питания.

Литература

1. Методика исчисления платы за перетекание реактивной электроэнергии, утвержденная Приказом Министерства энергетики и угольной промышленности Украины от 17.01.2002 г. № 21.

М.К. Маренич, асп.; рук. И.Б. Гуляева, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОНТУРА ЗАЗЕМЛЕНИЯ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА ШАХТЫ

Существующие подходы к организации и техническому обеспечению электроснабжения технологических участков угольных шахт создают предпосылки для объединения отдельных заземляющих контуров в единую систему. С учётом применения всё более разветвлённых, протяжённых и мощных кабельных линий, сопротивления изоляции кабельной сети каждого технологического участка имеют тенденцию к снижению. Это ведёт к росту токов в цепи заземления, зафиксированные величины которых зачастую превосходят параметры, относящиеся к искробезопасным. Подобный эффект имеет место и в шахтных подземных высоковольтных электросетях линейного напряжения 6 кВ [1].

Целесообразно реализовать технические решения, позволяющие повысить параметры электрического сопротивления между фазами электросети и землёй. В частности, могут быть рассмотрены принципиальные изменения относительно эксплуатации шахтных гибких экранированных кабелей. Так, их центральные медные жилы могут использоваться как обособленные проводники, не подключаемые к цепи заземления и создающие условия формирования импульса тока, проходящего на «звезду» вторичной трёхфазной обмотки трансформатора участковой подстанции через цепь: «конденсатор — резистор — диод» [2].

Такой подход позволит локализовать контуры заземления корпусов электрооборудования в пределах расположения средств электроснабжения технологических участков шахты, существенно снизить величины токов в этих контурах, упростить процесс и сократить время выявления повреждения фазной изоляции кабеля, за счёт использования узла дифференцирования в цепи выявления повреждения.

Литература

1. **Брюханов, А.М.** Локальные заземляющие сети — новое решение в обеспечении безопасной эксплуатации систем подземного высоковольтного электроснабжения / Брюханов А.М. [и др.] // Вестник ДонНТУ. — 2019. — Вып. 3(17). — С. 51–58.
2. **Гуляева, И.Б.** Адаптация петлевого метода определения места повреждения кабеля к условиям применения в структуре рудничного электротехнического комплекса / Гуляева И.Б., Маренич М.К., Муфель Л.А. // Вестник ДонНТУ. — 2021. — Вып. 1 (23). — С. 35–41.

И.И. Мазуров, студ.;
рук. И.А. Бершадский, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)

РАСЧЕТ ЗОН ЗАЩИТЫ ЧЕТЫРЕХ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ ОРУ

Прямой удар молнии является опасным явлением, которое наносит большое разрушительное действие объектам. Наиболее рациональный способ, позволяющий избежать экономического ущерба в случае удара молнии — это применение эффективной системы молниезащиты и заземления [1]. В условиях всеобщей компьютеризации целесообразно использовать сервисы и программы, которые оптимизируют и ускоряют расчет по перехвату разрядов молнии. В настоящее время расчет молниезащиты производят ряд таких коммерческих программ, как «ЗУМ», Model Studio CS и др., однако работа с ними подразумевает наличие 3-мерных моделей объектов, что не всегда доступно проектировщикам. Помимо этого, существуют онлайн-сервисы, созданные отдельными авторами, имеющие ограниченный функционал, как-то расчёт одиночных молниеотводов для одного прямоугольного равновысокого объекта и др. Согласно [2] для специальных объектов, таких как ОРУ подстанций и электростанций наиболее целесообразными и распространёнными считаются группы стержневых молниеотводов. Таким образом, есть необходимость в инструменте, который способен оперативно осуществить расчет молниезащиты. Предлагается выполнить Web приложение на HTML5 и JavaScript. Для графических построений применяется элемент <canvas>. Основная задача — возможность произвольного выбора местоположения молниеотводов в условиях трех разногабаритных зон, характерных для ОРУ. Web приложение визуализирует зоны защиты выбранных молниеотводов на заданных высотах, что позволяет наглядно убедиться в защищенности объекта. В частности, выполнен расчет для четырех молниеотводов согласно [2] с попарной проверкой зон их защит в автоматическом режиме. Также предусмотрено автоматическое получение минимизированной высоты молниеотвода путем ее наращивания в итерационном процессе. Данная задача усложнена тем, что объектов может быть несколько и они могут отличаться по габаритам и типу зоны защиты, молниеотвод может размещаться в определенных интервалах координат.

Литература

1. **Куприенко В.М.** Анализ методов расчета и выбора параметров зоны защиты стержневых молниеотводов // Электричество. 2012. — № 9, С. 39–43.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО 153-34.21.122-2003) д.т.н. Э.М. Базелян — ЭНИН м. Г.М. Кржижановского. В.И. Поливанов, В.В. Шатров, А.В. Цапенко.

*А.Н. Поважнюк, студ.; К.В. Власов, студ.;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА ВСЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ МЕКАНУМ КОЛЕС

В цехах, складах, где нет возможности использования платформ с рулевым узлом, широко применяются платформы с всенаправленными колесами. Для этих целей используются платформы на базе меканум колес. Они позволяют перемещаться по плоскости в любых направлениях в любой момент времени без переориентации.

Целью работы является разработка прототипа, системы управления мобильного робота всенаправленного движения на базе меканум колес, для исследования ее возможностей.

В начале, была разработана платформа [1] на базе меканум колес в программе SolidWorks, а затем реализована с помощью 3D печати. Из SolidWorks модель была импортирована в Matlab (с помощью библиотеки SimScapeMultibodyLink), для понимания принципа работы робота, с дальнейшим написанием программы

управления. Для разработанного прототипа установлена необходимость настройки контуров скорости колес (рис.1), в соответствии с прямой и обратной задачи кинематики [2] четырехколесного меканум робота.

Разработана принципиальная схема, выбраны и обоснованы органы управления прототипом, составлена программа управления на микроконтроллере STM32F407VE. Также реализованы замкнутые контуры регулирования скорости колес (рис. 1).

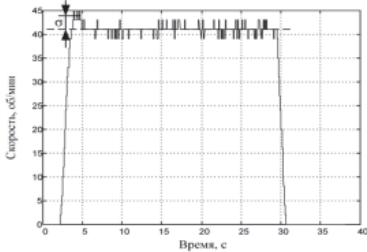


Рис. 1. Настройка контура скорости колеса робота

Литература

1. MobileRoboticsSimulationToolbox [Электронный ресурс] / Mathworks. — Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66586-mobile-robotics-simulation-toolbox>, свободный. — Загл. сэкрана.
2. Демонстрация работы прототипа [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=iO6bIivUh-4>.

*В.В. Коробкин, студ.;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНЫМ РУЛЕВЫМ МЕХАНИЗМОМ И ПОЛНЫМ ПРИВОДОМ

Современные автопроизводители все чаще используют в своих автомобилях механизм с четырехколесным рулевым управлением и полным приводом (4WS4WD). Его применение повышает безопасность движения и маневренность на низких или высоких скоростях, в зависимости от режима работы. Подобные механизмы успешно применяются в автомобилестроении, особенно в беспилотном наземном транспорте.

Целью работы является разработка прототипа системы управления механизма с четырехколесным рулевым механизмом и полным приводом.

Для исследования был разработан прототип подобного механизма [1]. Установлено, что система управления должна содержать высокий уровень, отвечающий за задачи интеллектуального распределения управляющих воздействий на скорости и углы поворота колес, а также на низкий уровень, отвечающий за точность и динамику отработки управлений сверху. Подобная система управления реализована на базе микроконтроллера STM32F4.

При этом в программной среде MATLAB с использованием библиотеки SimMechanics установлена взаимосвязь между углами поворота двигателя и углами поворота колеса (рис. 1).

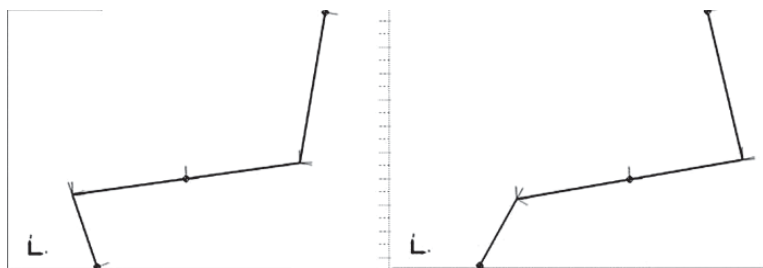


Рис. 1. Взаимосвязь сервопривода и колеса прототипа

В качестве органа управления разработано приложение, написанное под ОСAndroid, которое содержит переключение кинематики, направление движения и скорость движения робота.

Литература

1. **Верзун, А.Н.** Разработка мобильного робота четырехколесным рулевым механизмом и полным приводом / А.Н. Верзун, В.В. Коробкин, Д.Н. Мирошник и др. // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 7-й Межд. н-практ. Конференции. — Донецк ДОННТУ, 2021. — Т. 2 — С. 139–144.

Д.А. Яцык, студ.; рук. В.Г. Черников, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию систем регулирования ветрогенераторных установок с переменной скоростью вращения ветроколеса. Такая концепция ветроустановки позволяет более эффективно использовать энергию ветра и обладает рядом других важных преимуществ по сравнению с концепцией прямого подключения генератора к сети. Переменная скорость вращения ветроколеса обеспечивается наличием преобразователя частоты с системой векторного регулирования момента. Преобразователь частоты обеспечивает работу ветроустановки в трех основных режимах: пуск, частичная нагрузка (номинальная мощность не достигнута) и полная нагрузка (номинальная мощность достигнута). В режиме частичной нагрузки задачей системы регулирования является отбор максимальной мощности от ветрового потока. Поэтому представляет интерес выбор наиболее простого, надежного и эффективного закона управления электромагнитным моментом генератора и проверка надежности его работы в условиях постоянно меняющейся скорости ветра. Для оценки эффективности выбранного закона управления была создана экспериментальная установка на валу генератора в соответствии с заданными рабочими параметрами. Основными компонентами экспериментальной установки являются: программируемый контроллер, содержащий модель ветра и модель ветроколеса, привод постоянного тока, имитирующий момент ветроколеса и асинхронный генератор с преобразователем частоты. В работе проведен анализ поведения основных параметров ветроколеса (коэффициент мощности и быстроходность), а так же параметров генератора (активная мощность и скорость вращения) при использовании математической модели поведения скорости ветра. Так же в работе сделан вывод об эффективности работы ветроустановки в случае применения предложенного закона управления моментом генератора.

Литература

1. Хаер, З. Ветроэнергетические установки: расчеты, интеграция в сеть, регулирование: — Вайсбаден: Шпрингер, 2018. = (Siegfried Heier Windkraftanlagen, Systemfuslegung, Netzintegration und Regelung. — Weisbaden: Springer, 2018).

*В.В. Ефимов, студ. ;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ РАСЧЕТА НАГРУЗОЧНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Анализ зарубежного опыта показывает, что рост потерь электроэнергии (ΔW) в сетях — это объективный процесс для стран с кризисной экономикой и реформируемой энергетикой. Также к росту потерь можно отнести еще такие факторы как, показатель недостаточности инвестиций в сетевую инфраструктуру и систему учета электроэнергии. В настоящее время для упрощения расчета в первую очередь нагрузочных потерь в электрических сетях используются различные методы, которые основываются на реальных графиках нагрузки. Значения в данных графиках фиксируется с определенным интервалом, а сами графики имеют разнообразный вид: от резко переменных до практически неизменных. На это влияет характер потребителя, если сеть имеет преимущественно потребителей тяжелой промышленности, то для нее характерны легко прогнозируемые пики и провалы на графике, в тоже время для бытовых потребителей характерны резко переменные пики нагрузки в сетях. Так же часто при расчете ΔW пренебрегают летним сезоном, учитывая его как процент от зимнего сезона, что увеличивает погрешность в расчете ΔW . Использование таких допущений позволяет сэкономить время вычислений и мощности аппаратного расчета.

В работе было выполнено исследование с целью изучения корректности данных методов по отношению к качественному расчету. Для исследования была выбрана сеть с двумя источниками питания, которая включает в себя два участка: кольцевой с двумя ПС и магистраль с тремя ПС [1]. ПС имеют потребителей с различным характером нагрузки, что даёт возможность использование в расчетах различных графиков. Для расчетов ΔW в сети было применено программное обеспечение PowerFactory и Excel. Итогом исследования стал сопоставительный анализ расчетов, выполненный по различным методикам учета характера нагрузки (графика нагрузки). В результате сравнения полученные данные наглядно демонстрируют рациональность использования допущений для определенного типа потребителей, где график нагрузки учитывает производственную загруженность. Это позволит улучшить использование методов расчета ΔW на этапах проектирования и эксплуатации электрических сетей.

Литература

1. **Гришанов С.А.** Исследование возможностей применения программного комплекса PowerFactory для анализа установившихся режимов и расчетов токов КЗ в электрических системах / С.А. Гришанов, Д.А. Свищенок / Завалишинские чтения: сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2016. — С. 93–97.

*Е.М. Матекина, студ.;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДОННТУ, Донецк)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ POWERFACTORY

Одной из наиболее опасных аварийных ситуаций в ЭЭС является нарушение динамической устойчивости работы синхронных генераторов (СГ) с появлением асинхронного режима (АР). Этот режим работы ЭЭС может спровоцировать последующее развитие каскадных аварий, а также стать причиной механического повреждения СГ и турбин. Поэтому АР должны ликвидироваться максимально быстро. Эффективность управления локальными электроэнергетическими объектами в аварийных ситуациях зависит от достоверности математических моделей отдельных элементов. Турбогенераторы (ТГ) электрических станций являются наиболее сложным элементом электрической системы. Поэтому целью данной работы является адаптация математической модели ТГ к современному программному обеспечению при оценке аварийных режимов работы в электрических системах.

Обоснование минимальной по сложности математической модели ТГ рассматривалось в ряде работ зарубежных и отечественных учёных [1]. Для повышения точности исследований переходных процессов СГ требуется представлять схемами, в которых массивные элементы ротора отображаются не менее, чем 3–4 контурами. Такие многоконтурные схемы замещения ТГ наиболее просто определяются путем синтеза на основе экспериментальных частотных характеристик. Современные программные комплексы типа PowerFactory используют принятые международным стандартом модели СГ — это наиболее простые по сложности модели.

В данной работе анализируется влияние электромагнитных параметров на протекание переходных процессов в ТГ при различных аварийных ситуациях. Для этого в работе предложено выполнить сопоставительный анализ результатов моделирования на примере АР для различных по мощности ТГ при использовании различных по сложности математических моделей самого генератора реализуемых в программном комплексе PowerFactory. Ожидаемым результатом данного исследования будет выбор оптимальной по сложности математической модели, необходимой для исследования переходных процессов в сложных электрических системах.

Литература

1. **Ларин А.М.** Анализ влияния модели синхронных генераторов на точность моделирования переходных процессов при несинхронных повторных включениях / А.М. Ларин, С.А. Гришанов, С.А. Зори / Информатика и кибернетика. — № 2 (20), 2020. — Донецк: ДОННТУ — С. 5–12.

Н.М. Охрименко, студ.;
рук. С.А. Гришанов, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЭС НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Как известно использование энергии ветра для получения электроэнергии широко стало использоваться в последние 15–20 лет. В мировой практике малые и средние ВЭС используют для покрытия пиков нагрузок в регионах со значительной долей ветровой нагрузки или для электроснабжения удалённых районов [1]. В частности в Новоазовском районе Донецкой области была построена Новоазовская ВЭС (НовВЭС) с целью использования значительных ветровых ресурсов приазовского побережья для производства электроэнергии в районе со значительной долей сельскохозяйственной нагрузки. Сейчас вследствие изменений режимов эксплуатации сетей Новоазовского региона НовВЭС практически простаивает. Ряд потребителей района, в основном это сети 6–35 кВ, получают питание по длинным линиям от ПС Тельманово-110. Т.к. сети 35 кВ достаточно долго эксплуатируются (реконструкция проводилась еще до 2010 г.), то их износ привел к значительному ухудшению качества напряжения у многих потребителей района, особенно у значительно удаленных объектов на напряжении 6–10 кВ. Поэтому включение в энергосистему Донецкого региона НовВЭС является актуальной задачей. Для ее решения необходимо выполнить исследования в подключении НовВЭС по новым схемам или откорректировать существующую схему в сторону улучшения режимов по напряжению. В работе выполнено моделирование режимов работы участка сети Новоазовского района с использованием программного комплекса PowerFactory. Выполнены расчеты режимов в сети 35 кВ от двух независимых источников питания на напряжении 35 кВ. Выполненные расчеты позволяют оценить уровень напряжения на ПС в сети 35 кВ. Также промоделированы ситуации питания данного района только от НовВЭС, но при условии, что ВЭС работает на постоянной основе. К сожалению это возможно только в осенне-весенний период, когда ветровая нагрузка в районе позволяет работать ВЭС на полную мощность. Исследования показали, что использование ВЭС позволяет значительно увеличить напряжение у потребителей данного района. Исследования проводились при использовании на ВЭС только ветротурбин типа Fuhrlander FL 2500/100.

Литература

1. **Стычинский З.А.** Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / Magdeburg: Издательство Магдебургского университета имени Отто-фон-Герике Docupoint GmbH, 2010 — 209 с.

В.И. Неволин студ.; рук. А.А. Булгаков, к.т.н. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ МЕДЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ, НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Одним из основополагающих требований, предъявляемых к электрическим системам, является обеспечение потребителей электрической энергией удовлетворительного качества. Основным нормативным документом, который регламентирует нормы качества электрической энергии в России, является стандарт [1]. Последний реализует принцип раздельного рассмотрения сетевых помех электромагнитной совместимости: медленные изменения напряжения, несимметрия, несинусоидальность напряжения и др.

Сетевые помехи электромагнитной совместимости в различной степени воздействуют на оборудование в электрических системах, поэтому целесообразно не только выполнять проверку соответствия требованиям стандарта [1], но и проводить оценку воздействия непосредственно на элементы электрической системы, на электроприёмники.

Воздействие сетевых помех на элементы системы электроснабжения обычно проявляется в виде дополнительных потерь мощности, дополнительного нагрева, сокращения срока службы оборудования [2].

В настоящей работе рассматриваются две модели сетевой помехи: детерминированная и вероятностная. Для автоматизации расчетов используются современные пакеты MathCAD, SMath Studio.

Исходными данными являются дискретные модельные массивы значений изменения во времени напряжений U_i . По ним рассчитываются показатели качества электроэнергии, определяются дополнительные потери мощности, дополнительный перегрев, сокращения срока службы для конденсаторных батарей, синхронных и асинхронных двигателей.

Литература

1. **ГОСТ 32144-2013**, Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, 2014. — 20 с.
2. **Жежеленко И.В.** Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. — М.: Энергоатомиздат, 2005. — 261 с.

Е.А. Яковлева, студ.;
рук. В.А. Павлюков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОЙ САПР ВТОРИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЯЧЕЕК КРУ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 (10) КВ

Несколько лет назад на кафедре «Электрические станции» ДонНТУ по заказу фирмы «Электроюжмонтаж» была разработана промышленная САПР вторичных цепей РЗА, контроля и управления [1]. Она успешно используется при выполнении проектов реконструкции ответственных электроустановок: энергоблоков АЭС, сетевых подстанций, ЛЭП напряжением 110–750 кВ, автотрансформаторов связи и др. В связи со сложностью и объемностью схем электрических принципиальных (СЭП) вторичных цепей использовать указанную САПР в учебных целях невозможно.

Для обучения студентов проектированию схем вторичных соединений разрабатывается упрощенная версия САПР для наиболее простого элемента электроустановок — ячеек КРУ напряжением 6 (10) кВ, устанавливаемых в системах с.н. электростанций и подстанций. При ее создании были использованы наработанные в промышленной САПР алгоритмы, графические (в среде AutoCAD) и символьные (в Excel) базы данных и исходные тексты отдельных проектных процедур.

Задачей учебной САПР является получение по разрабатываемой студентом СЭП выходных документов: спецификации ее оборудования и схем электрических соединений в виде клеммников и подключения проводов к приборам, разъемам и устройствам СЭП.

СЭП изображается на форматах А4, являясь одновременно и математической моделью, и выходным документом. В учебных целях ее элементы распределяются по слоям, соответствующим отсекам ячейки КРУ (релейному, выключателя, присоединения и сборных шин), панели управления, тепловому реле и т.д. На схеме применена цветовая индикация маркируемых перемычек (плюсов и минусов схем управления и сигнализации, клемм заземления и т.д.). Элементы СЭП формируются с помощью графических блоков (ГБ). Для большей универсальности ГБ ряда элементов (микропроцессорных терминалов (МПТ), дополнительных устройств, ключей управления и др.) созданы динамическими.

Разрабатываемый вариант САПР ориентирован на СЭП с МПТ фирмы АВВ, дальнейшие разработки будут направлены на МПТ российского производства.

Литература

1. **Павлюков В.А., Ткаченко С.Н., Коваленко А.В.** Способ обработки на ЭВМ электрических схем вторичных коммутаций основных элементов электроустановок // САПР и моделирование в современной электронике: Мат. II Междунар. науч.-практ. конф. Б.: БГТУ, 2018. Ч. 1.

Г.А. Сокурено, студ.;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Важное место в изучении замкнутых систем подчиненного регулирования механических координат занимает оборудование для лабораторных работ. При этом особенным в обучении является возможность сопоставления математических моделей и лабораторных стендов замкнутых систем. Этим требованиям частично удовлетворяет существующий лабораторный стенд [1]. Его недостатком является использование разных программ для соответствующих систем управления.

Целью работы является создание улучшенной единой программы, обеспечивающей возможности исследования замкнутых систем регулирования механических координат электропривода, для существующего лабораторного стенда.

Для предложенного стенда были сформулированы следующие критерии универсальности: низкие требования к знанию языков программирования; легкий переход от одной системы регулирования к другой; наличие всех необходимых датчиков для создания основных контуров регулирования, а именно контура тока, контура скорости и контура положения; простота ремонта и модернизации.

Основой существующего стенда [1] является отладочная плата STM32F4, которая вместе с программным обеспечением MATLAB позволит достаточно просто и понятно создать универсальную модель для исследования систем регулирования координат электропривода.

Все датчики были приведены к 100 единицам задания при помощи изменения коэффициентов обратной связи. При помощи блоков switch осуществлены коммутации элементов разных систем управления. Их коммутация осуществляется в виде переведенного в двоичный код номера системы управления.

Подобный подход позволит получить навыки настройки замкнутых систем регулирования, а также использовать знания в дисциплине «Комплектный электропривод».

Литература

1. **Мирошник, Д.Н.** Современный подход к изучению замкнутых систем регулирования механических координат электропривода постоянного тока / Д.Н. Мирошник, Е.А. Остроух, Г.А. Сокурено и др. // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 7-й Межд. н-практ. конференции — Д.: Издательство: Донецкий национальный технический университет (Донецк), 2021 г. — С. 149–152.

М.С. Пушкарь, студ.;
рук. Д.Н. Мирошник, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ТРЕХКОЛЕСНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА ВСЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F4

В настоящее время мобильные роботы являются крайне востребованными в различных сферах деятельности. Такие роботы являются автономными и позволяют быстро, без участия оператора, доставлять грузы, выполнять разные виды работ в труднодоступных для людей местах. Также подобные роботы могут использоваться в сфере развлечения. Например, с помощью библиотеки Mobile Robotics Simulation [1] для Matlab роботов можно обучить играть в различные спортивные игры и устраивать соревнования между ними.

Целью данной работы была разработка трехколесного мобильного робота всенаправленного движения на базе микроконтроллера STM32F4.

На начальном этапе с помощью 3D-печати была разработана и собрана аппаратная часть робота (рис. 1). Для нее обоснована принципиальная электрическая схема устройства и разработана программа управления роботом для микроконтроллера STM32F4 в программной среде MATLAB [2].

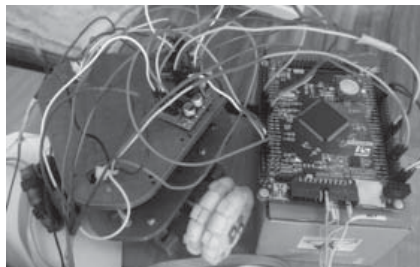


Рис. 1. Фото мобильного робота

В программе реализован замкнутые контуры с обратной связью по датчикам угловой скорости колес.

Применение трех омни-колес позволяет роботу обеспечивать движение в любых направлениях. Точное позиционирование, одометрия и навигация робота возможны в соответствии уравнениями прямой и обратной кинематики [1], а также точного регулирования скоростями колес.

Литература

1. Описание пакета Mobile Robotics Simulation Toolbox. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66586-mobile-robotics-simulation-toolbox> (Дата обращения: 1.11.2021).
2. **Мирошник, Д.Н.** Современный подход к изучению замкнутых систем регулирования механических координат электропривода постоянного тока / Д.Н. Мирошник, Е.А. Остроух, Г.А. Сокуренок и др. // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 7-й Межд. н-практ. конференции — Д.: Издательство: Донецкий национальный технический университет (Донецк), 2021 г. — С. 149–152.

Н.А. Ульянов, студ.;

рук. Д.В. Половинка, к.т.н., доц. (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

МОДУЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГПТ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ НАГРУЗКИ

Существует необходимость модернизации установки для исследования влияния качества напряжения на АД, где нагрузкой является генератор постоянного тока (ГПТ) смешанного возбуждения, мощностью 3,5 кВт.

Задача — разработка модуля автоматической регистрации событий для системы управления ГПТ со стабилизацией нагрузки.

Разработан программный модуль в среде «SCADA Simp Light», который позволяет осуществить связь ПК, где установлен этот модуль, с управляющим микроконтроллером ATmega 328 по интерфейсу RS-485 (скорость 19200 бод) с использованием протокола «MODBUS RTU».

Микроконтроллер ATmega 328 по запросу от ПК осуществляет опрос всех присоединённых устройств: два модульных датчика тока ACS 712, два датчика напряжения DC 0–25 для шунтовой и серийной обмоток, датчик скорости вращения двигателя, датчик температуры ГПТ.

Эти данные обрабатываются и сохраняются в программном модуле среды «SCADA Simp Light» и производится расчет мощности на выходе генератора. Количество измерений ограничено — не более 6 измерений за 1 сек. Это обусловлено небольшой скоростью обмена данными и использованием медленного, но надежного протокола «MODBUS RTU».

Программный модуль среды «SCADA Simp Light» так же позволяет дистанционно осуществлять коммутацию нагрузки посредством подачи управляющих сигналов на IGBT-транзисторы (IRG4IBC20UD).

В результате, разработанный программный модуль в среде «SCADA Simp Light» позволяет осуществлять дистанционное управление нагрузкой ГПТ, фиксировать и сохранять текущие параметры ГПТ и отображать их в виде временных графиков.

Литература

1. **Е. Кислов, Е. Чибисова:** Заметки о Modbus 20.01.2021 версия 1.0 [Электронный ресурс] // Перевод статей по автоматизации: OSCAT.ru URL: https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/98_Books/ModbusTips.pdf (дата обращения 7.09.21)
2. Нижний Тагил [Электронный ресурс] // Документация по SCADA системе Simp Light URL: https://simplight.ru/manual_next/ (дата обращения 10.09.21)

Е.П. Андрейченко, студ.;
рук. А.Н. Минтус, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСЦИЛЛЯЦИИ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Одним из основных этапов технологического процесса непрерывного литья заготовок является осцилляция кристаллизатора. Качание последнего осуществляется по гармоническому закону с амплитудой и частотой, которые зависят от сортамента и скорости разливки [1]. В переходных режимах при изменении скорости разливки необходимо изменять рациональные параметры осцилляции. Эта задача, как правило, решается гидравлическими приводами механизма качания, но с появлением линейных актуаторов на основе ролик-винтовой пары возможно её решение и на их базе.

Система управления механизмом качания кристаллизатора должна обеспечивать динамическое изменение частоты и амплитуды качания с минимальным временем переходных процессов между установившимися режимами. Для обоих случаев реализации привода механизма качания повысить точность отработки входного синусоидального сигнала возможно на основе комбинированного управления по задающему воздействию, при котором на входе системы помимо самого воздействия, должны формироваться и сигналы, пропорциональные его производным.

Реализация производных от входного синусоидального воздействия возможна без использования дифференцирующих звеньев. Если реализовать синусоидальный и косинусоидальный сигналы требуемой частоты, то можно обеспечить необходимое количество производных входного воздействия путем комбинации этих сигналов. Рациональное количество производных будет определяться порядком передаточной функции замкнутого контура системы регулирования реализуемого привода механизма качания кристаллизатора.

Литература

1. **Процессы непрерывной разливки.** Монография. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаев А.А. и др. — Донецк. ДонНТУ 2002. — 536 с.

А.В. Андрущенко, студ.;
рук. П.И. Розкаряка, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЭМС-ДАТЧИКА ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Отдельные задачи, которые решают с помощью роботов-манипуляторов, требуют формирования траектории для органов хвата с помощью задающих устройств. Таким «задающим» устройством может выступать информационная перчатка (Data Glove).

Целью работы является разработка системы управления роботом-манипулятором, оснащенной устройством задания положения звеньев робота, построенного на базе МЭМС-датчиков положения MPU-6050.

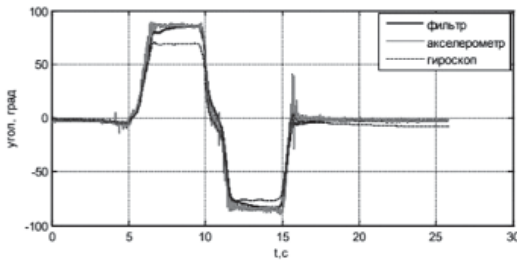


Рис. 1. Обработка данных датчика комплементарным фильтром

На начальном этапе работы осуществлено исследование работы датчика положения MPU-6050. Проведен сравнительный анализ методов фильтрации данных, полученных от датчика: комплементарный фильтр и основанный на кватернионных расчетах фильтр Маджвика (рис.1).

Второй этап включает создание функционального прототипа устройства системы управления роботом-манипулятором, использующей для задания положения звеньев и захвата робота-манипулятора [1] данные, собранные от МЭМС-датчиков положения, устанавливаемых на руке оператора [2].

При написании программы управления для микроконтроллера STM32F4 была использована среда MATLAB Simulink с библиотекой Waijung.

В результате получена система управления роботом-манипулятором, оснащенная устройством задания положения хвата, построенного на базе МЭМС-датчиков MPU-6050.

Литература

1. **Тищенко Д.М., Козырев А.В., Розкаряка П.И.** Разработка системы регулирования положения звеньев робота-манипулятора Katana // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 3-й меж. н-практ. конференции. Т. 2. — Донецк: ДонНТУ. — 2017. — С. 120–127.
2. **Сироноженко С.И., Розкаряка П.И., Мирошник Д.Н.** Моделирование и сенсорная идентификация положения кисти руки в пространстве // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 6-й меж. н-практ. конференции. Т. 2. — Донецк: ДонНТУ. — 2020. — С. 60–72.

*Д.В. Чернига, студ.; рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц.,
В.А. Павлюков, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ГЕНЕРАТОРНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ БЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В настоящее время для большей части энергоблоков тепловых электрических станций (ТЭС) стран постсоветского пространства существует необходимость в полномасштабной реконструкции с соответствующей заменой устаревшего и изношенного оборудования [1].

На Зуевской ТЭС (ЗуТЭС) Донбасса, включающей четыре блока суммарной мощностью 1250 МВт, одной из важных задач, является замена устаревших генераторных воздушных выключателей типа ВВГ-20. Первоначально проект реконструкции генераторного распределительного устройства предполагал установку выключателя производства швейцарской компании АББ® типа HECS-130L, способного отключать токи короткого замыкания до 190 кА включительно. Однако в последние годы на государственном уровне продвигается программа импортозамещения, подразумевающая внедрение технологий, а также различного оборудования отечественного производства. Поэтому задача выбора и соответствующей проверки генераторного выключателя, производства отечественных предприятий на Зуевской ТЭС является актуальной.

На основании выполненного анализа и поисковых работ установлено, что ближайшим аналогом является генераторный элегазовый выключатель типа ВГГ-20-90/10000 УЗ, производства АО ВО «Электроаппарат» [1].

Произведён анализ проекта реконструкции энергоблоков ЗуТЭС, выполненного профильным проектным институтом. Выполнена дополнительная проверка генераторного выключателя типа ВГГ-20-90/10000 УЗ согласно стандартной методики согласно стандарта IEC/IEEE 62271-37-013 [2] на возможность установки на втором и третьем энергоблоках. Алгоритм выбора генераторного выключателя согласно вышеуказанного стандарта реализован в ПО Учебная САПР электрических станций и подстанций, разработанной на кафедре «Электрические станции» ГОУВПО «ДонНТУ».

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. **INTERNATIONAL STANDARD IEC/IEEE 62271-37-013.** High-voltage switchgear and controlgear — Part 37-013: Alternating-current generator circuit-breakers. 2015. — 226 p.

М.А. Нагорский, студ.;
рук. В.С. Гармаш, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С СИНХРОННЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

Типичной схемой электроснабжения автономной системы является работа нескольких синхронных генераторов на общую активно-индуктивную двигательную нагрузку [1].

Исследование такой системы с учётом режимов наброса и сброса нагрузки, короткого замыкания (к.з.) и других, требует математического описания всех элементов по их полным дифференциальным уравнениям включая решение вопроса корректных коммутаций.

Данная работа посвящена разработке и исследованию такой системы, и сравнению результатов с известными аналитическими зависимостями (расчёты режима к.з. по стандартам МЭК, IEEE и др.) и расчётами в среде MATLAB® Simulink [2].

В режимах подключения нагрузки напряжение на шинах системы на каждом шаге расчёта определялось из условия равенства производных токов всех ветвей. В режимах отключения нагрузки, группового выбега и др., начальные условия интегрируемых переменных находились из условия равенства потокосцеплений всех замкнутых контуров до и после коммутации.

Моделирование в системе Simulink свелось к использованию готовых блоков Synchronous Machine, Asynchronous Machine, Excitation System.

В результате проведенных расчетов получены следующие результаты:

1. В режимах подключения нагрузки и к.з. наблюдается полное совпадение величин и характера изменения токов и напряжений.
2. В режиме отключения нагрузки (выбег) наблюдается существенное отличие в характере изменения напряжения. Погрешность в величине начального провала напряжения достигает 20%.

Таким образом, моделирование режима отключения нагрузки требует дальнейшего изучения и доработки.

Литература

1. **Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В.А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.
2. **Гармаш В.С., Дудниченко Д.А.** Исследование режимов короткого замыкания в автономных энергетических системах. / Сборник трудов 5-й международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса. Т. 2» — Донецк: ДонНТУ, 2019. — с. 25–27.

*А.Н. Халимоненко, студ.;
рук. А.В. Светличный, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ

В лабораторном практикуме студентов направлений подготовки «Технологические машины и оборудование» и «Мехатроника и робототехника» используется стенд для проведения работ по вибродиагностике роторных машин. Система датчиков включает в себя вибропреобразователь ВПЭ-085-Т-32; датчик скорости МХ5050; акселерометр VSA005. В качестве приводного электродвигателя использовался однофазный асинхронный конденсаторный двигатель типа АИРЕ71С2. Достоинствами такого электродвигателя являются высокая частота вращения 3000 об/мин и возможность питания от однофазной сети 220 вольт переменного тока, которая имеется во всех помещениях университета.

Вместе с тем, использование нерегулируемого электропривода не позволяет исследовать зависимость уровня вибрации от частоты вращения, а также определять экспериментальным путем резонансные частоты механизма.

Для расширения функциональных возможностей лабораторного стенда выполнена его модернизация. Однофазный электродвигатель заменен на трехфазный АИР71А2 [1], а для его питания использован преобразователь частоты SAKOSKI780W [2]. Питание преобразователя осуществляется от однофазной сети переменного тока 220 вольт, и таким образом, сохраняется возможность использования стенда в учебных помещениях. Максимальное выходное линейное трехфазное напряжение составляет 220 вольт, что позволяет при соединении обмоток статора двигателя в треугольник, полностью использовать весь скоростной диапазон до 3000 об/мин.

Для удобства работы на приборной части стенда установлен потенциометр с проградуированной шкалой скоростей вращения вала.

Проведенная модернизация позволила расширить объем исследований, проводимых студентами в ходе лабораторных работ.

Литература

1. Электродвигатель АИР71А2 [электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.res-elektro.ru/catalog/elektrodvigateli/air/71a2_item/.
2. Сако SKI780 мини-привод переменной частоты [электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://nodirectionthemovie.com/products/ski780>.

*Я.С. Кошелев, студ.; рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц.;
рук. Г.В. Антоненко, ст. преп. (ДонНТУ, Донецк)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Задача реализация микропроцессорной системы регулирования и защиты электродвигателей собственных нужд электростанции выдвигает определенные требования к микроконтроллеру. Задача цифровой обработки сигналов подразумевает прием, обработку и выдачу управляющих воздействий в достаточно короткие сроки. Частотное регулирование электропривода требует генерации управляющих сигналов согласно текущему состоянию системы. Для этого была разработана схема H-моста с использованием MOSFET транзисторов и микроконтроллера [2]. Предполагается управление асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором напряжением 0,4 кВ. Работоспособность и надежность такой системы зависит от скорости и точности вычислений.

Исходя из предъявляемых требований, был выбран микроконтроллер STM32F407VET6. Производителем ядра ARM Cortex-M4F, лежащего в основе данного устройства, предусмотрены команды обработки цифровых сигналов, таких, как аппаратное умножение и умножение с накоплением, обеспечивающие выполнение подобных операций за минимальное количество времени. Кроме того, в ядре установлен сопроцессор для обработки чисел с плавающей точкой однократной точности. Также микроконтроллер содержит интерфейс передачи данных, что необходимо для обеспечения взаимодействия с пользователем. Помимо прочего, высокая тактовая частота обеспечивают достаточную скорость вычислений, а 32-х разрядная архитектура центрального процессора позволяет поддерживать необходимую точность.

В данной работе разработан и опробован на экспериментальном стенде прототип цифровой системы регулирования и защиты электродвигателей собственных нужд электростанции, с реализованной схемой H-моста с использованием MOSFET транзисторов.

Литература

1. **Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.** Электрическая часть электростанций и подстанций [Учебное пособие] — Под ред. В.А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.
2. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника / Учебник для вузов. — 2-е изд., стереотип. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 632 с.

*Р.А. Маринич, студ.; рук. В.А. Павлюков, к.т.н., доц.,
С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ТУРБОГЕНЕРАТОРА МОЩНОСТЬЮ 200 МВт ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ ТЭС

В Донбасской электроэнергетической системе на Старобешевской ТЭС (СБТЭС) на конце одной из отходящих линий ОРУ 110 кВ «Ново-Троицкая-1» произошло однофазное короткое замыкание, переходящее в двухфазное КЗ, а затем и трёхфазное КЗ. Данное технологическое нарушение было ликвидировано в течение 18 секунд действием четвертой небыстродействующей ступенью дистанционной защиты ЛЭП. Турбогенератор (ТГ) шестого блока номинальной мощностью 200 МВт, работающий на шины 110 кВ, перешел в асинхронный режим. Поскольку отключение КЗ было продолжительным, и при этом система АЛАР (автоматика ликвидации асинхронного режима) не сработала, произошло повреждение ТГ с последующим длительным капитальным ремонтом. Аналогичные аварии описаны в [1].

В данной работе выполнено математическое моделирование асинхронного режима. Для этой цели использовалась усовершенствованная математическая модель, разработанная на кафедре «Электрические станции» ГОУВПО «ДонНТУ» [2]. Моделирование технологического нарушения производилось в программе РТС[®] MathCADTM методом узловых потенциалов, а также в программном комплексе MathWorks[®] MATLAB[®] с использованием библиотеки Simulink.

В результате выполненных расчетов были получены векторные диаграммы токов в ветвях и напряжений в узлах, а также построены годографы токов ТГ № 6 и воздушных ЛЭП при КЗ на их концах.

Результаты расчетов были использованы при разработке дополнительной защиты от асинхронного режима ТГ № 6, основанной на контроле угла между векторами напряжения на его выводах и соседнего ОРУ 220 кВ.

Литература

1. **Коган Ф.Л.** Асинхронный режим и асинхронный ход синхронных генераторов. Опасность и защита / Ф.Л. Коган // Электричество. — 2010. — № 8. — С. 2–13.
2. **Сивокобыленко В.Ф.** Математическое моделирование в электротехнике и энергетике [Уч. Пособие] / В.Ф. Сивокобыленко — Донецк, РВА ДонНТУ, 2005. — 350 с.

В.В. Сергиенко, студ.;
рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц. (ДонНТУ, Донецк)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАВКИ НА БАЗЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Асинхронные машины (АМ) являются наиболее распространенными машинами переменного тока, применяемые в промышленности по всему миру, как в качестве двигателей, так и в качестве генераторов [1]. Одним из видов АМ являются машины с фазным ротором (ФР). В современных ветроэнергетических установках (ВЭУ) АМ с ФР применяются в качестве электрогенератора, включённого по схеме асинхронного генератора двойного питания (АГДП), номинальной мощностью от 1 МВт до 6,5 МВт. Выполнение математического моделирования для оценки поведения АГДП в различных режимах работы основано на используемой математической модели (ММ), эквивалентной схеме замещения (ЭСЗ) и методах определения её параметров. В существующих ММ, используются ЭСЗ АМ с ФР, в которых не учитываются вовсе или учитываются упрощённо потери в магнитопроводе статора, насыщение магнитных цепей, а также скин-эффект в обмотке ротора.

В данной работе с целью повышения точности была усовершенствована и реализована в пакете PTC® MathCAD® ММ ВЭУ с АГДП. В качестве алгоритма цифровой системы управления преобразователем частоты в цепи ротора использовалась логика, описанная в [1]. В основе данной модели находится ЭСЗ машины с учётом эффекта вытеснения тока в обмотке ФР, а также учётом потерь в стали магнитопровода статора в виде отдельного короткозамкнутого контура с последовательно соединёнными активным сопротивлением и индуктивностью. Параметры применяемой ЭСЗ, были определены с использованием метода, изложенного в [2]. Работоспособность усовершенствованной ММ опробована на ПЭВМ в процессе моделирования режима параллельной работы ВЭУ с энергосистемой.

Литература

1. **Abad G., López J., Rodríguez M.A., Marroyo L., Iwanski G.** Doubly Fed Induction Machine: Modeling and Control for Wind Energy Generation — Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011. — 620 p.
2. **Сивокобыленко, В.Ф., Ткаченко С.Н.** Математическое моделирование характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором с учётом потерь в стали / Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия «Электротехника и энергетика». — 2007 — вып. 10 (128). — С. 126–131.

*А.А. Чепига, асп.; Ю. Али, асп.; Е.Е. Корытченкова, студ.;
рук. В.И. Калашников, д.т.н., проф. (ДонНТУ, Донецк)*

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.

*Т.И. Тахтарова студ.;
рук. И.И. Ларина, к.т.н., доц. (ДОННТУ, Донецк)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРОЩЕННЫХ МЕТОДОВ ВЫБОРА МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Экономическая эффективность работы электрических сетей определяется значениями потерь мощности и электроэнергии в ее элементах, а также показателями качества электроэнергии. Для ее повышения применяются различные мероприятия. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наибольшая энергетическая эффективность на рубль инвестиций по ее достижению обеспечивается за счет средств поперечной компенсации реактивной мощности (КРМ) [1]. В промышленно развитых странах КРМ уделяют большое внимание: во Франции, Швеции, Германии мощность КУ составляет 35% от активной пиковой мощности, в США и Японии — около 70%. При этом $tg\varphi$ в режиме максимальных нагрузок в США, Японии и большинстве европейских стран в зависимости от номинального напряжения сети поддерживается на уровне 0,2–0,4, что соответствует $\cos\varphi = 0,98–0,92$ [1].

Для стимулирования установки КУ потребителями в отечественной практике была введена плата за перетоки реактивной мощности (ПРМ) [2]. Для потребителей, которые не участвуют в регулировании ПРМ, плата за ее потребление и генерацию включает две составляющие: основную плату и надбавку (при $tg\varphi_m > 0,25$) за недостаточное оснащение электрической сети потребителя КУ. Основная плата состоит из платы за круглосуточное потребление реактивной энергии и ее генерацию в дневное время по одному тарифу и платы по утроенному тарифу за генерацию в часы ночного спада нагрузки. Как показывают расчеты, плата за ПРМ может превышать плату на покрытие потерь активной энергии.

В работе выполнен сравнительный анализ упрощенных методов выбора КУ (выбраны БК) для 5 подстанций реального участка электрических сетей по приведенным затратам (инвестициям, постоянным и переменным издержкам, плате за ПРМ). Определена оснащенность КУ ($Q_{ку}/P$) сети потребителя, даны рекомендации по использованию упрощенных методов.

Литература

1. **Овсейчук В.А.** Техничко-экономическая эффективность регулирования реактивной мощности и напряжения в распределительных электрических сетях. Уч.-метод. Пособие / В.А. Овсейчук, Г.Г. Трофимов — Москва: ИПКГосслужбы, 2009. — 72 с.
2. **Методика расчета платы за перетоки реактивной электроэнергии между электропередающей организацией и ее потребителями.** Утверждена приказом Министерства топлива и энергетики Украины № 19 от 17.01.2002 / Официальный вестник Украины. — 2002. — № 48. — с. 71–147.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| НАПРАВЛЕНИЕ I — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА | 5 |
| Секция 1. Теоретические основы радиотехники | 6 |
| Секция 2. Формирование колебаний и сигналов | 21 |
| Секция 3. Устройства обработки радиосигналов | 34 |
| Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн | 44 |
| Секция 5. Радиолокация и телевидение | 59 |
| Секция 6. Квантовая электроника | 64 |
| Секция 7. Радиосистемы навигации и связи | 74 |
| Секция 9. Промышленная электроника | 81 |
| Секция 10. Электроника и наноэлектроника | 104 |
| Секция 11. Биомедицинская электроника | 111 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ II — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | 131 |
| Секция 12. Математическое моделирование | 132 |
| Секция 13. Прикладная математика | 147 |
| Секция 14. Вычислительная техника и САПР | 174 |
| Секция 15. Вычислительные машины, сети и системы | 181 |
| Секция 16. Управление и интеллектуальные технологии | 201 |
| Секция 17. Вычислительно-измерительные системы | 216 |
| Секция 18. Неразрушающий контроль и диагностика | 228 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ III — БЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | 238 |
| Секция 19. Информационная безопасность | 239 |
| Секция 20. Прикладная и бизнес-информатика | 263 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ IV — ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ | 269 |
| Секция 21. Электромеханические преобразователи энергии | 270 |
| Секция 22. Физика и технология материалов и компонентов | 296 |
| Секция 23. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы | 310 |

| | |
|---|-----|
| Секция 24. Электрические и электронные аппараты | 328 |
| Секция 25. Электропривод и автоматика | 368 |
| Секция 26. Промышленные электротермические установки | 390 |
| Секция 27. Электрический транспорт | 407 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ V — ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ | 414 |
| Секция 28. Техносферная безопасность | 415 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ VI — ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ | 437 |
| Секция 29. Общие вопросы экономики | 438 |
| Секция 30. Экономика промышленности | 444 |
| Секция 31. Менеджмент | 456 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ VII — ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ | 487 |
| Секция 32. Промышленная электроэнергетика | 488 |
| Секция 33. Энергетика теплотехнологии | 497 |
| Секция 34. Процессы и аппараты промышленной теплоэнергетики | 511 |
| Секция 35. Энергосбережение и промышленная экология | 523 |
| Секция 36. Промышленные теплоэнергетические системы | 537 |
| Секция 37. Электрохимическая и водородная энергетика | 553 |
| Секция 38. Экономика энергетики | 570 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ VIII — ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОФИЗИКА | 585 |
| Секция 39. Атомные электрические станции и установки | 586 |
| Секция 40. Проблемы термоядерной энергетики и плазменные технологии | 612 |
| Секция 41. Теплофизика | 640 |
| Секция 42. Техника и физика низких температур | 666 |
| Секция 43. Нанотехнологии | 680 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ IX — ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА | 697 |
| Секция 44. Котельные установки и охрана окружающей среды | 698 |
| Секция 45. Технология воды и топлива на ТЭС и АЭС | 709 |
| Секция 46. Схемы и режимы работы тепловых электрических станций | 717 |

| | |
|--|-----|
| Секция 47. Контроль, автоматизация и управление в энергетике | 729 |
| Секция 48. Теплотехника и малая распределенная энергетика | 739 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ X — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ | 753 |
| Секция 49. Энергетические установки и двигатели. | 754 |
| Секция 50. Проблемы технологии, надежности и конструирования | 778 |
| Секция 51. Робототехнические и мехатронные системы | 795 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ XI — ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА | 809 |
| Секция 52. Электроэнергетические системы. | 810 |
| Секция 53. Электроснабжение | 818 |
| Секция 54. История энергетики | 828 |
| Секция 55. Электрические станции. | 848 |
| Секция 56. Секция имени профессора Б.К. Максимова «Электрофизика и системы управления электроэнергетических объектов» | 871 |
| Секция 57. Теоретические основы электротехники | 898 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ XII — ГИДРОЭНЕРГЕТИКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ | 908 |
| Секция 58. Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии | 909 |
| | |
| НАПРАВЛЕНИЕ XIII — СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ | 922 |
| Секция 59. Промышленный и медиа дизайн | 923 |
| Секция 60. Электроэнергетика в военном деле. | 930 |
| Секция 61. Техническое творчество студентов среднего профессионального образования. | 933 |
| Секция 62. Электроэнергетика Средней Азии | 936 |
| Секция 63. Специальные вопросы электроэнергетики Восточной Европы | 967 |

Научное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать восьмая Международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов

Подписано в печать 03.03.2022 г. Формат 60 x 90/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 62,5.

Тираж 90 экз. Заказ № 012-02/22.

Оригинал-макет и полиграфические работы –
ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“».

Тел.: (495) 252-7510.

<http://www.raduga-print.ru>

<http://www.radugaprint.ru>